

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EL PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA Y SENSIBILIDAD
SOCIOAMBIENTAL APLICADO A LA VALIDACIÓN DE RUTA
DEL PROYECTO DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA COYA”**

Presentada por:

KATYA ANGELOT SILVA CASTRO

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Lima – Perú

2024

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

Tesis_Katya Silva

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	15%	10%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	Submitted to tec Trabajo del estudiante	<1%
4	vdocuments.com.br Fuente de Internet	<1%
5	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación Trabajo del estudiante	<1%
7	doczz.es Fuente de Internet	<1%
8	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“EL PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA Y SENSIBILIDAD
SOCIOAMBIENTAL APLICADO A LA VALIDACIÓN DE RUTA
DEL PROYECTO DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA COYA”**

Presentada por:

KATYA ANGELOT SILVA CASTRO

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ph.D. Haline Heidinger Abadía
PRESIDENTE

Mg. Sc. Juvenal Vivanco García Armas
MIEMBRO

Ph.D. Diego Alejandro Sotomayor Melo
MIEMBRO

Mg. Sc. Víctor Raúl Miyashiro Kiyari
ASESOR

DEDICATORIA

Con inmensa gratitud y profundo cariño, dedico esta tesis a mis queridos primos, Álvaro y Fredy, y a mi amado abuelito Oré. Aunque ya no estén físicamente presentes, fueron una fuente inagotable de inspiración en mi camino hacia la excelencia profesional. Su ejemplo de dedicación, trabajo duro y pasión por sus carreras me motivó a perseguir mis sueños con determinación y perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

Con profunda emoción y un corazón lleno de gratitud, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la realización de esta tesis.

En primer lugar, a mis queridos padres, Nery y Laynes, quienes, con su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y sus sabios consejos me han guiado a lo largo de toda mi vida. Gracias por ser mi fuente de inspiración, por creer en mí siempre y por enseñarme el valor del trabajo duro, la perseverancia y la honestidad.

A mis hermanos, Antony y Alexa, quienes han sido mis compañeros de aventuras, mis confidentes y mis mejores amigos. Gracias por su apoyo en los momentos difíciles y por compartir conmigo la alegría de este logro.

A mis abuelitas, Eudilia y Nelly, quienes me han brindado su amor, su ternura y su sabiduría desde que era una niña. Gracias por sus consejos y por ser un ejemplo de fortaleza y bondad.

A mis amigos Francisco y Bianca. Francisco, gracias por tu invaluable apoyo con el procesamiento de la data en el software R, tu experticia fue muy importante para la concreción de esta tesis. Bianca, mi mejor amiga y socia, gracias por tu motivación constante y tu aliento. Su apoyo, tanto individualmente como en conjunto, ha sido una fuente de fortaleza y determinación.

A los expertos que participaron en esta tesis, gracias por su disponibilidad, conocimientos y respaldo, los cuales fueron cruciales para el desarrollo de este trabajo.

A mis familiares y amigos, quienes siempre han estado presentes en mi vida, brindándome su apoyo, su cariño y sus palabras de aliento.

Gracias por ser parte de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia del sistema eléctrico.....	4
2.2. Transmisión eléctrica	5
2.2.1. Tendencias y desafíos	5
2.2.2. Etapas de un proyecto de Transmisión eléctrica	6
2.2.3. Impactos asociados a los proyectos de transmisión eléctrica	7
2.3. Planificación	8
2.4. Importancia de la selección de alternativas de proyectos de líneas de transmisión	9
2.4.1. Análisis de alternativas	10
2.4.2. Elección de criterios	11
2.4.3. Costos asociados a las líneas de transmisión	12
2.4.4. Restricciones	12
2.5. Jerarquía de la mitigación.....	13
2.6. Sistemas de información geográfica (SIG).....	14
2.7. Toma de decisiones	16
2.7.1. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP).....	17
2.7.2. Juicio de expertos	22
2.8. Antecedentes de SIG y toma de decisiones	24
2.8.1. AHP basado en SIG.....	24
2.9. Sensibilidad socioambiental	25
2.9.1. Estudios de Sensibilidad ambiental en diversos sectores	26
2.9.2. Mapeo de sensibilidad	27
2.10. Proyecto de Línea de Transmisión COYA	28

III.	METODOLOGÍA.....	31
	3.1. Área de estudio	31
	3.2. Materiales:	32
	3.3. Métodos	32
	3.3.1. Procedimiento sin uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):	33
	3.3.2. Procedimiento con uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
	4.1. Procedimiento sin uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):	38
	4.1.1. Declarando el objetivo	38
	4.1.2. Identificación de criterios	38
	4.1.3. Asignación de pesos relativos a través del proceso de Jerarquía Analítica (AHP)	41
	4.2. Procedimiento con uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):	44
	4.2.1. Elaboración del Mapa base	44
	4.2.2. Elaboración del Mapa táctico	46
	4.2.3. Elaboración del Mapa estratégico	49
	4.2.4. Elaboración del Mapa de sensibilidad	53
V.	CONCLUSIONES	60
VI.	RECOMENDACIONES	62
VII.	BIBLIOGRAFÍA	64
VIII.	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala fundamental	20
Tabla 2 Valores de ratio de consistencia	22
Tabla 3 Criterios identificados por componente ambiental	41
Tabla 4 Valores relativos por experto mediante el proceso de Jerarquía Analítica.....	43
Tabla 5 Buffer del área de estudio	45
Tabla 6 Consideraciones y fuentes de información de criterios propuestos	47
Tabla 7 Tipo y puntuación de los criterios de acuerdo a su vulnerabilidad	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Red de sistema de energía tradicional	4
Figura 2 Implementación de la SIG en el sistema de energía	15
Figura 3 Esquema del proceso de jerarquía analítica.....	18
Figura 4 Plan Elegido 2020	30
Figura 5 Área de estudio	31
Figura 6 Diagrama de flujo de la metodología	33
Figura 7 Mapa base	45
Figura 8 Mapa Táctico	48
Figura 9 Mapa estratégico	50
Figura 10 Mapa de sensibilidad socioambiental.....	55
Figura 11 Mapa de sensibilidad socioambiental traspalado con el trazo aprobado por el EIA de la LT COYA	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Formato de matriz de comparación por pares del Proceso de Jerarquía	
Analítica (AHP).....	74
Anexo 2: Formato de prueba de consistencia.....	75
Anexo 3: Perfil profesional de expertos.....	76

RESUMEN

La industria de la energía eléctrica enfrenta el desafío de satisfacer la creciente demanda global, destacando la necesidad de construir y optimizar la infraestructura de transmisión (Kishore & Singal, 2014). Componente que debe considerar aspectos ambientales, sociales y económicos para determinar la viabilidad del proyecto, siendo fundamental la evaluación temprana (Arica, Morales, & Rivera, 2020). Además, la optimización anticipada puede minimizar impactos ambientales y reducir costos empresariales (Vega, 2013). La falta de información para definir rutas óptimas de líneas de transmisión destaca la necesidad de una metodología cuantitativa en la toma de decisiones (Ekel *et al.*, 2019) en conjunto con emplear sistemas de información geográfica (SIG) para reducir costos y pérdidas de energía, utilizando herramientas digitales basadas en la ubicación para minimizar errores en la identificación de áreas potenciales (Moradi *et al.*, 2020). Razón por la cual la presente investigación aborda la importancia de una cuidadosa definición de ruta en proyectos a través de un instrumento metodológico que combina el proceso de jerarquía analítica con el uso del SIG con el fin de establecer sensibilidad socioambiental para la identificación de áreas críticas en la planificación del proyecto de línea de transmisión “Enlace 500 kV Mantaro - Nueva Yanango – Carapongo y Subestaciones Asociadas” (Proyecto COYA). El estudio identifica 9 criterios ambientales diferenciados en los componentes físico, biológico y socioeconómico, evaluados por 12 expertos para cuantificar su importancia y lograr el mapa de sensibilidad socioambiental, cuyo traslape con el trazo real del Proyecto COYA confirma la eficacia de la metodología en la reducción del impacto socioambiental en la planificación. Este enfoque además permite la generación de mapas táctico y estratégico que sirven como instrumentos de apoyo para la toma de decisiones y pueden ser usados de manera independiente de acuerdo con los requerimientos del desarrollador del proyecto.

Palabras Clave: Sensibilidad socioambiental, Proceso AHP, Líneas de transmisión eléctrica, Planificación, Impacto socioambiental, SIG, Toma de decisiones.

ABSTRACT

The electric power industry faces the challenge of meeting growing global demand, highlighting the need to build and improve transmission infrastructure (Kishore & Singal, 2014). Component that must consider environmental, social and economic aspects to determine the viability of the project, with early evaluation being essential (Arica, Morales, & Rivera, 2020). Furthermore, early optimization can minimize environmental impacts and reduce business costs (Vega, 2013). The lack of information to define optimal transmission line routes highlights the need for a quantitative methodology in decision making (Ekel, *et al.*, 2019) in conjunction with using geographic information systems (GIS) to reduce costs and losses of energy, using location-based digital tools to minimize errors in the identification of potential areas (Moradi *et al.*, 2020). Reason why this research addresses the importance of a careful route definition in projects through a methodological instrument that combines the analytical hierarchy process with the use of GIS to establish socio-environmental sensitivity for the identification of critical areas in the planning of the transmission line project “500 kV Mantaro – Nueva Yanango – Carapongo and Associated Substations Link” (COYA Project). The study identifies 9 differentiated environmental criteria in the physical, biological and socioeconomic components, evaluated by 12 experts to quantify their importance and achieve the socio-environmental sensitivity map, whose overlap with the real outline of the COYA Project confirms the effectiveness of the methodology in reducing the socio-environmental impact in planning. This approach also allows the generation of tactical and strategic maps that serve as support tools for decision making and can be used independently according to the requirements of the project developer.

Keywords: Socio-environmental sensitivity, AHP process, Electrical transmission lines, Planning, Socio-environmental impact, GIS, Decision making.

I. INTRODUCCIÓN

Se proyecta que la demanda global de electricidad se duplique para el año 2030, con un crecimiento anual del 2,4%. Este incremento será aún más pronunciado en los países en vías de desarrollo, donde se prevé que la demanda de electricidad aumente más del 4% anual. Además, la proporción de la demanda mundial de electricidad en los países en desarrollo podría aumentar del 27% en 2000 al 43% en 2030 (IAEA, 2014).

La industria de la energía eléctrica se encuentra en un desafío constante para satisfacer la creciente demanda global de energía eléctrica, lo que requiere la construcción de nuevas estaciones generadoras y líneas de transmisión, así como la mejora y actualización de las instalaciones existentes. Para abordar esta demanda, se enfatiza constantemente la necesidad de construir y optimizar la infraestructura de transmisión utilizando tecnología avanzada, mejores prácticas operativas y considerando reformas políticas y legales (Kishore & Singal, 2014).

El sector eléctrico en el Perú ha observado un importante desarrollo en los últimos años de un crecimiento promedio de 8% anual, sosteniendo el incremento de la actividad económica, lo cual hace necesario la implementación de nuevas instalaciones para la transmisión de electricidad que permite transportar la energía eléctrica desde los centros de generación hacia los lugares de consumo final (OSINERGMIN, 2016).

El creciente consumo de energía exige que las líneas eléctricas se diseñen de manera que minimicen los efectos potenciales sobre la salud de la población, preserven los paisajes y reduzcan la perturbación de la vida silvestre, ya que pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente durante las fases tanto de la construcción como la operación, debido a factores tales como la contaminación electromagnética, la tala de bosques, la fragmentación del hábitat, la visibilidad de las torres de alta tensión (Bagli, Geneletti, & Orsi, 2011). Así, las líneas de transmisión podrían causar impactos significativos en el medio ambiente durante las fases de construcción y operación, siendo los más evidentes asociados con el derecho de servidumbre, la zona debajo de los cables donde se elimina la vegetación y se

maneja para evitar interferencias y riesgos (Biasotto & Kindel, 2018; Marshall & Baxter, 2002).

También es importante mencionar que las redes de sistemas de energía eléctrica son los sistemas más extensos y complejos que ha creado la humanidad ya que requieren una gran cantidad de inversión, y el éxito del sector está altamente ligado a una planificación y gestión adecuadas (Shafiullah *et al.*, 2016). Además, muchos autores han considerado que el enrutamiento en la planificación de la transmisión eléctrica como uno de los casos más extremos de dificultad de ubicación para una infraestructura en nuestra sociedad moderna (Fatou & Christopher, 2016).

En ese sentido, cobra importancia la selección de las mejores rutas propuestas para el emplazamiento de la línea de transmisión eléctrica en la que se consideren características relevantes en los aspectos ambientales, sociales, técnicos y económicos que influyan y determinen la viabilidad de un proyecto, por lo que es oportuno y necesario evaluarlos en una etapa temprana para una mejor toma de decisiones (Arica, Morales, & Rivera, 2020)

Asimismo, según Vega (2013) en la actualidad el trazado de líneas de transmisión eléctricas no se encuentra correctamente optimizado el aspecto ambiental y en muchas ocasiones los impactos ambientales son difíciles de mitigar o reducir, rehabilitar o compensar, por lo que una optimización ambiental anticipada representaría grandes ventajas como la minimización de los impactos sobre el medio ambiente, así como la disminución de costos para las empresas.

Esto implica que la ruta sugerida será elegida luego de un análisis exhaustivo y la consideración de varias opciones, considerando tanto la factibilidad técnica como económica, y minimizando el impacto en el medio ambiente y las personas; considerando asuntos ambientales, técnicos y económicos, y lograr un equilibrio entre ellos (Marshall & Baxter, 2002).

Ya que aún no se dispone de suficiente información para la definición final de una ruta óptima o las rutas preferenciales de las líneas de transmisión, es necesario crear una metodología para el uso convincente de la información disponible (Ekel, *et al.*, 2019).

Por lo tanto, una opción a la problemática antes mencionada es la utilización de una metodología cuantitativa en la toma de decisiones, que permita en forma integrada realizar una adecuada selección de las alternativas e incorporar desde la fase inicial del proyecto la

determinación de la Jerarquía de la Mitigación de Impactos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015).

Asimismo, Shafiullah *et al.* (2016) sugieren que el uso adecuado del sistema de información geográfica (SIG) posibilita disminuir los costos de desarrollo de infraestructura y las pérdidas de energía asociadas a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Además, las SIG se utilizan como herramienta de cálculo digital basada en la ubicación para minimizar errores mediante el reconocimiento de áreas potenciales utilizando mapas temáticos digitales y modelos conceptuales para la integración de datos (Moradi *et al.*, 2020).

Debido a lo expuesto anteriormente, la presente investigación pretende reflejar la importancia de definir una ruta cuidadosa a través de la selección de trazos que causen la menor perturbación a las personas y al medio ambiente contando con un instrumento que permita en forma integrada realizar una adecuada selección de las alternativas e incorporar desde la fase inicial del proyecto la determinación de la Jerarquía de la Mitigación de Impactos facilitando posteriormente la elaboración del Instrumento de Gestión Ambiental en el que se incluirán las medidas para evitar, entre otras, la fragmentación de hábitat, impactos en la flora o fauna asociada, barreras a la migración de especies, (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015).

El objetivo general de la investigación es validar la ruta óptima aplicando el proceso de jerarquía analítica y sensibilidad socioambiental en el proyecto de transmisión eléctrica “Enlace 500 kV Mantaro - Nueva Yanango – Carapongo y Subestaciones Asociadas” (Proyecto COYA); el objetivo específico 1 es analizar y proponer criterios físicos, biológicos y socioculturales que permitan reflejar la mejor alternativa para el emplazamiento de la línea de transmisión eléctrica COYA; seguidamente, el objetivo específico 2 es analizar la importancia de los criterios propuestos mediante la implementación del método de jerarquía analítica orientado a la evaluación de la ruta óptima de la línea de transmisión eléctrica COYA; y finalmente el objetivo específico 3 es aplicar la metodología en la línea de transmisión eléctrica COYA para la obtención de la ruta con el menor impacto socioambiental.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del sistema eléctrico

El sistema eléctrico es importante por varias razones: proporciona energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la sociedad; apoya el crecimiento económico a través de la disponibilidad de energía eléctrica confiable y asequible; mejora la calidad de vida proporcionando iluminación en áreas sin electricidad y permitiendo el uso de equipos médicos y tecnologías de comunicación; y facilita la transición a fuentes de energía más limpias, como las energías renovables (Cepal, 2015; U.S Department of Energy, 2021; Schneider Electric, 2021).

Comúnmente, los sistemas de energía eléctrica comprenden diferentes componentes que trabajan juntos para proporcionar energía eléctrica a los consumidores. Estos componentes incluyen unidades de generación de energía, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, alimentadores de distribución y consumidores. Las unidades generadoras son responsables de la producción de energía eléctrica, que se transmite a través de las líneas de transmisión y se distribuye a través de las redes de distribución a los consumidores e industrias (Shafiullah *et al.*, 2016), este proceso se ilustra en la Figura 1:

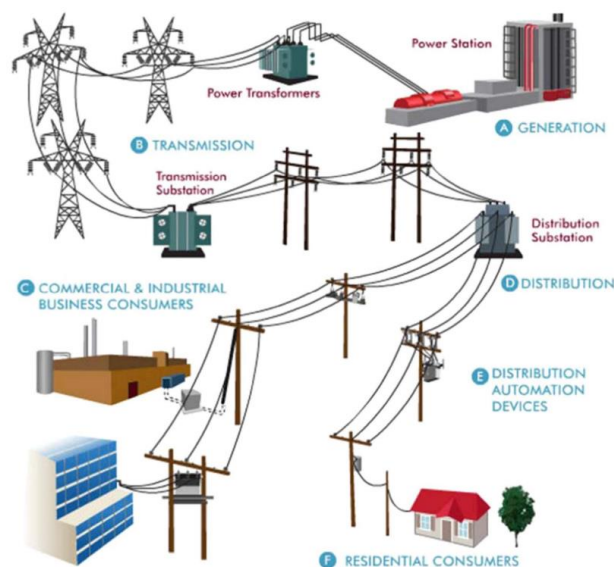


Figura 1. Red de sistema de energía tradicional
FUENTE: Al-Sakkaf y Al-Ramadan, 2012.

2.2. Transmisión eléctrica

El sistema de transmisión forma la columna vertebral del sistema de energía integrado y opera con el voltaje del sistema más alto posible. Las líneas de transmisión actúan como enlace de conexión entre las estaciones de generación (centrales eléctricas) y los centros de carga (demanda) donde se consume la electricidad; así como, en la conexión con otros sistemas de transmisión (Kishore & Singal, 2014).

La expansión de los sistemas de transmisión eléctrica es fundamental para atender las crecientes demandas de energía eléctrica que se observan (Ekel, *et al.*, 2019). Por lo que, el correcto y estable funcionamiento de la red eléctrica depende en gran medida del papel crucial que desempeñan las líneas de transmisión; si hay demoras en la construcción de estas, las instalaciones de generación pueden subutilizarse, lo que puede afectar significativamente la capacidad de la red eléctrica para abastecer la demanda de energía y limitar la integración de fuentes de energía (Kishore & Singal, 2014).

2.2.1. Tendencias y desafíos

El mercado de electricidad a nivel mundial está experimentando cambios significativos en la cartera de generación y en el despacho en tiempo real debido a la reestructuración, las preocupaciones ambientales y los esquemas de comercio de emisiones. Esto ha creado la necesidad de disponer de una infraestructura de transmisión adecuada y un esquema de inversión acorde con la evolución del mercado. Sin embargo, este cambio en la generación y la inversión en transmisión plantea desafíos técnicos y económicos en la planificación y operación de los mercados de electricidad (Hasan *et al.*, 2013).

En esa línea, la construcción de una nueva infraestructura de transmisión de electricidad se interpreta como necesaria para lograr los objetivos gubernamentales de aumentar el suministro de electricidad con bajas emisiones de carbono con el fin de combatir el cambio climático y garantizar la seguridad energética a largo plazo. Sin embargo, la ubicación de las líneas aéreas y subestaciones de alto voltaje es objeto de controversia pública debido a sus posibles impactos ambientales, sociales y económicos (Cotton & Devine-Wright, 2011). Por lo que es creciente la preocupación el reducir dichos impactos.

A lo anterior, se suma que estos proyectos son difíciles de ubicar, son costosos y su construcción requiere de mucho tiempo requieren mucho tiempo debido a la compleja

relación entre las características del proyecto, el paisaje, el sentimiento individual, la interacción social, el proceso de ubicación y el contexto político (Hasan *et al.*, 2013).

En suma, los proyectos de líneas de transmisión requieren ser abordados desde varias perspectivas conflictivas. Por un lado, los operadores de distribución buscan la minimización de los costes de construcción del proyecto, mientras que otros interesados pueden querer minimizar diferentes factores, como el impacto ambiental de la línea o su impacto visual en el paisaje. Esto crea serios conflictos de interés, que deben ser resueltos con una técnica capaz de planificar nuevas infraestructuras de manera aceptable para todas las partes involucradas (Borlase, 2012) .

En particular, la ubicación de líneas de transmisión consiste en encontrar áreas adecuadas para construir torres de transmisión, utilizando un proceso que excluya áreas en las que no pueden desarrollarse mientras se apunta a minimizar el costo económico total del proyecto (Veronesi *et al.*, 2017).

2.2.2. Etapas de un proyecto de Transmisión eléctrica

Los proyectos de transmisión de eléctrica se desarrollan generalmente en 6 etapas: Pre-proyecto, Planificación, Diseño, Construcción, Operación y Desmantelamiento. La manera de presentar estas fases puede diferir o ser más detallada según otros autores y documentos. No obstante, se considera la que mejor representa los posibles impactos en la biodiversidad.

Las etapas de pre-proyecto y planificación incluyen los análisis de pre-factibilidad del proyecto, seguido de la etapa de diseño que finaliza con la propuesta de la mejor opción de ruta para la siguiente fase de construcción que implica la ejecución de obras civiles y montaje electromecánico, la etapa de operación incluye la realización del mantenimiento de la línea y finalmente, la etapa de desmantelamiento involucra retirar los activos del proyecto (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015).

Por lo tanto, para una mejor toma de decisiones es necesario y oportuno evaluar en una fase temprana las alternativas de emplazamiento de los principales componentes para la transmisión de la energía eléctrica; es decir, la línea de transmisión y subestaciones eléctricas, en el que se requiere analizar el aspecto ambiental, económico, sociocultural y técnico que influyen o determinan la viabilidad de un proyecto (Arica, Morales, & Rivera, 2020).

2.2.3. Impactos asociados a los proyectos de transmisión eléctrica

La expansión de las redes de transmisión suele caracterizarse por la complejidad técnica, la necesidad de tener en cuenta aspectos socioambientales y el requerimiento de realizar importantes inversiones (Ekel, *et al.*, 2019).

Diversos autores mencionan impactos negativos que la construcción y operación de líneas de transmisión eléctrica pueden acarrear, desde la alteración del paisaje en el que están ubicadas, perturbación de áreas de interés para la conservación de la naturaleza, requiriendo nuevas vías de acceso y su mantenimiento periódico puede ser intrusivo. En cuanto a otros impactos se mencionan que las líneas pueden dañar restos arqueológicos, causar contaminación acústica por zumbidos y crujidos; y afectar la vida silvestre, especialmente las aves debido a la colisión en las líneas. Asimismo, se señala que las comunidades locales manifiestan su preocupación por los potenciales riesgos para la salud por la exposición a campos eléctricos y magnéticos (CEM) (Araneo *et al.*, 2014; Marshall & Baxter, 2002; Cotton & Devine-Wright, 2011).

Además, un aspecto relevante es el impacto de la ubicación de la línea en los paisajes afectados, siendo la terminología común utilizada para describir sus efectos como "intrusión visual", lo que implica que los elementos estructurales lineales no sean deseados debido principalmente a cambios estéticos y los posibles efectos que tienen sobre el valor de las propiedades o el desarrollo económico (Cotton & Devine-Wright, 2011). Esto debido a que las líneas de alto voltaje generalmente se colocan en torres de 30 a 60 metros de altura y se extienden a grandes distancias, se pueden ver desde muchos puntos de vista diferentes y pueden tener impactos visuales significativos (Elliott & Wadley, 2012).

En realidad, es bien sabido que las comunidades locales suelen oponerse a la construcción de nuevas líneas eléctricas porque no perciben ningún beneficio directo de su implementación y tienen diversas preocupaciones relacionadas con su salud, paisaje y el valor económico de sus propiedades pueda verse afectados (Araneo *et al.*, 2014). Así, la petición de una empresa de suministro eléctrico para obtener el consentimiento para la ejecución de una nueva línea de transmisión puede enfrentarla directamente a los mismos clientes cuya provisión de electricidad busca garantizar.

En consecuencia, el propósito óptimo al construir nuevas líneas de transmisión es minimizar de manera eficaz los impactos adversos en las personas y el medio ambiente, al mismo

tiempo que se asegura la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia económica para la compañía de servicios públicos (Araneo *et al.*, 2014).

2.3. Planificación

Según López-Marrero *et al.*, (2011) la planificación del uso de las tierras es un mecanismo de política que puede emplearse con el propósito de preservar los recursos naturales. Una planificación adecuada del uso de las tierras implica reconocer las zonas geográficas fundamentales para respaldar las funciones y servicios que brindan los ecosistemas.

La preparación de propuestas requiere tiempo y recursos significativos, y si no se aborda de manera ordenada y formal, puede afectar negativamente el rendimiento de una empresa. Esto es especialmente cierto si los objetivos a largo plazo no se reflejan adecuadamente en el proceso de preparación. Por lo tanto, una anticipación efectiva en la preparación de propuestas puede proporcionar una ventaja competitiva y mejorar el rendimiento general del sector. Es crucial considerar estos aspectos para evitar un bajo desempeño en comparación con la opción de no emprender nuevos negocios (Ekel, *et al.*, 2019).

Generalmente, se tiene que el diagrama de flujo de selección de los sitios óptimos de generación y distribución junto con las rutas de transmisión óptimas se presenta como sigue: al principio, los sitios potenciales se seleccionan siguiendo unos pocos criterios de evaluación, luego se digitalizan los datos de los sitios potenciales y se desarrollan mapas básicos para clasificar los sitios en función de factores socioeconómicos y ambientales a través del Sistema de Información Geográfica (SIG). Finalmente, se eligen los sitios mejor clasificados para la instalación de plantas de generación, rutas de transmisión y subestaciones de distribución (Shafiullah *et al.*, 2016).

Además, localizar proyectos de transmisión eléctrica resulta complicado y demanda una gran cantidad de tiempo, debido a la complejidad de la conexión entre las particularidades del proyecto, el entorno natural, las percepciones personales, el impacto social, el proceso de ubicación y el contexto político (Cain, 2013).

Es necesaria una planificación y gestión organizativa eficaz para lograr la calidad, la construcción según lo previsto y los máximos beneficios económicos con el mínimo daño ambiental. Por ello, debe iniciarse con suficiente antelación respecto al inicio de las actividades de construcción, abordando aspectos técnicos, económicos y ambientales, lo que

conduce a una disminución de los costos fijos y operativos, menores riesgos y fomenta una mejor utilización de los recursos naturales (Kishore & Singal, 2014).

2.4. Importancia de la selección de alternativas de proyectos de líneas de transmisión

El enfoque adoptado para el enrutamiento de la línea de transmisión aérea se basa en la premisa de que la forma principal de mitigar el efecto ambiental es mediante la selección de la ruta más adecuada y la elaboración del estudio de impacto ambiental, que son dos procesos separados que involucran:

- Selección de ruta: una evaluación ambiental estratégica y evaluación de opciones de ruta para seleccionar una ruta preferida
- Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la ruta propuesta.

La información ya obtenida en la etapa de selección de ruta se complementa posteriormente con información más detallada para la ruta propuesta que comúnmente involucra estudios especializados como un estudio arqueológico y caminar sobre la ruta, o la elaboración de mapas de estudio del hábitat (Marshall & Baxter, 2002).

El paso número uno en el proceso de EIA es el desarrollo de alternativas, que implica la creación, identificación y selección de opciones que serán sometidas a un análisis detallado en la EIA. Sin embargo, existe una falta de ejercicio en el desarrollo de alternativas, ya que los profesionales e investigadores han puesto más énfasis en analizar las opciones existentes en lugar de generar buenas alternativas desde el principio. Esto conduce a que, al inicio de la EIA, los analistas se enfrenten a un conjunto de opciones limitadas, determinadas por decisiones previas que no consideraron adecuadamente los efectos ambientales. Como resultado, las EIA pueden resultar largas y costosas sin lograr revelar las compensaciones cruciales, incorporar los valores públicos y explorar enfoques más ambientalmente racionales. Esto implica que las decisiones estratégicas previas que determinaron el proyecto pueden no haber sido sometidas a una evaluación ambiental y social, lo que puede socavar los objetivos de la EIA de promover acciones más ambientalmente racionales y aceptables para el público (Steinemann, 2001).

El Anexo IV del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto Supremo N°019-2009-MINAM) incluye entre los requisitos básicos para los Estudios de Impacto Ambiental detallados (EIAd) la evaluación de múltiples alternativas del proyecto y la elección de la más adecuada, tomando en cuenta aspectos

ambientales, sociales y económicos, así como la identificación de posibles riesgos que puedan afectar la viabilidad del proyecto o actividad.

Por otro lado, el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas (Decreto Supremo N°014-2019-EM), indica que el “Titular debe realizar el análisis de alternativas del proyecto teniendo en cuenta los factores ambientales, económicos y sociales, elaborando el estudio ambiental sobre la base de la mejor alternativa y considerando las restricciones o limitaciones de orden técnico que correspondan”. Asimismo, se deben tener en cuenta al menos el riesgo para la salud de mujeres y hombres, los impactos ambientales, el riesgo de pérdida y funcionalidad de los ecosistemas, la vulnerabilidad física, los límites de las áreas naturales protegidas, los riesgos climáticos, la posible reubicación de poblaciones, la aplicación de los criterios de jerarquía de la mitigación, además de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, así como, los efectos en otras actividades económicas dentro del área de influencia del proyecto.

En este marco normativo, se refleja la importancia de la selección de alternativas en una fase temprana del proyecto para que el estudio ambiental a elaborarse se establezca sobre la ruta óptima considerando una serie de aspectos que permitan asegurar la reducción de impactos ambientales negativos potenciales de los proyectos de inversión.

2.4.1. Análisis de alternativas

Según Steinemann (2001) en la fase de selección previa al EIA se determina qué alternativas serán consideradas. Sin embargo, los criterios de selección pueden ser arbitrarios y no tener en cuenta los factores ambientales, lo que puede llevar a la exclusión de opciones más respetuosas con el medio ambiente antes del análisis de alternativas. Esto puede sesgar el conjunto final de alternativas hacia la acción propuesta, enfoques previos y agendas de los proponentes del proyecto. En ese sentido, existe una diferencia entre tener una gama legal de alternativas y tener una buena variedad de alternativas, y se plantea la cuestión de cómo el cumplimiento de las regulaciones de la EIA puede conducir a decisiones más respetuosas con el medio ambiente. En este sentido, dicho artículo sugiere que las alternativas son un punto de partida importante.

Devine-Wright (2005) sugiere un enfoque interdisciplinario para el análisis de alternativas de la ubicación del proyecto que tenga en cuenta los aspectos físicos, el contexto ambiental y las interacciones sociales que dan forma a las percepciones de los individuos.

Asimismo, los factores ambientales deben convertirse en criterios explícitos para seleccionar alternativas para el conjunto final. Una meta de la EIA es promover esfuerzos que reducirán o eliminarán el daño al medio ambiente. Por lo tanto, las alternativas más respetuosas con el medio ambiente no deberían eliminarse tan fácilmente, simplemente porque no cumplen con una definición limitada de los objetivos del proyecto (Steinemann, 2001).

2.4.2. Elección de criterios

Se puede considerar como punto de partida esencial y fundamental para la evaluación la identificación y elección de factores que sean eficaces y que contribuyan al análisis de alternativas. Es crucial tener en cuenta las particularidades biofísicas y socioeconómicas de una región específica para poder seleccionar y examinar de manera precisa diversos tipos de factores (Xin & Chan, 2014; Kim, Uysal, & Sirgy, 2013).

En el estudio de Zahibi, *et al.*, (2020), eligieron factores que han demostrado relevancia para la planificación del uso de la tierra en el campo del ecoturismo como elevación; pendiente; temperatura, precipitación, geología; tipo de tierra, distancia a los ríos; distancia a las carreteras y la proximidad a los "puntos calientes", que eran las partes más habitadas de las aldeas cercanas.

Por otro lado, en el estudio de Bagli, Geneletti, & Orsi (2011) se identificó tres componentes principales que se verían potencialmente afectados por una línea eléctrica: la salud humana considerando como criterios a la densidad de construcción, distancia edificios sensibles, altura media de edificios; el paisaje, con criterios de distancia a sitios culturales y recreativos, visibilidad desde edificios residenciales; y la naturaleza, criterios como orientación de laderas, distancia a infraestructura lineal existente, naturalidad de la cubierta terrestres y crestas de las líneas.

En el estudio de Araneo, Celozzi, & Vergine (2015) se indica que las limitaciones importantes que intervienen sobre el medio incluyen las cuestiones específicas relativas a la biodiversidad, la población, la salud humana, el suelo, el agua, el patrimonio cultural, el paisaje y las interrelaciones entre las limitaciones anteriores.

Asimismo, otro estudio contiene como criterios para la selección de alternativas de líneas de transmisión eléctrica a la velocidad del viento, distancia a otras líneas eléctricas, distancia a subestaciones, distancia a carreteras, caminos y áreas urbanas, y también la pendiente del

terreno que se consideran en base a sugerencias de expertos y estudios previos (Moradi, Yousefi, Noorollahi, & Rosso, 2020).

El estudio de Veronesi, *et al.* (2017) indica que un criterio importante es la distancia entre la línea prevista y las zonas urbanas ya que en algunos casos la población se opone a que las líneas de alta tensión pasen directamente sobre sus cabezas, y en general no se puede construir cerca de asentamientos por cuestiones relacionadas con la contaminación electromagnética. Además, el estudio consideró los siguientes parámetros: ríos, lagos, afloramientos rocosos, pedregales, bosques, edificios, autopistas y otros tipos de carreteras, ferrocarriles y líneas de tranvía; y criterios adicionales, como la ubicación de vertederos, sitios históricos, minas y canteras.

2.4.3. Costos asociados a las líneas de transmisión

Los costos asociados a la implementación de nuevas líneas de transmisión se subdividen en distintas categorías. Esto incluye los costos relacionados con la accesibilidad, los costos vinculados a las características geográficas del área en cuestión (como el tipo de suelo, la cobertura vegetal, el uso del suelo, , las zonas urbanas y las áreas de alto impacto ambiental), los costos asociados a la complejidad del terreno (como la pendiente y la orografía), los costos relacionados con la velocidad del viento, los costos derivados de la altitud y los costos ocasionados por obstáculos (como carreteras, vías férreas, ríos, telecomunicaciones y otras líneas eléctricas) (Ekel, *et al.*, 2019).

En general, se busca utilizar un método de suma ponderada para combinar todos los criterios considerados y crear una superficie de costo para resolver el problema de la ruta de costo mínimo para la determinación de rutas (Eroglu & Aydin, 2015; Dedemen, 2013).

2.4.4. Restricciones

El primer paso para identificar los mejores corredores para el enrutamiento de las nuevas líneas eléctricas aéreas es tener en cuenta todas las limitaciones y normativas vigentes en el área de estudio seleccionada (Araneo, Celozzi, & Vergine, 2015).

Según Bagli, Geneletti, & Orsi (2011) se requiere aplicar restricciones espaciales para excluir del análisis de alternativas las áreas que no son adecuadas para implementar una línea eléctrica, como áreas de paisaje y/o cultura de interés identificado por planes espaciales a nivel local y regional, áreas protegidas, áreas afectadas por peligros naturales, o los que tengan alguna restricción en las legislaciones, como por ejemplo, se excluyó del análisis un

amortiguador de 18 m alrededor de cada edificio para cumplir con el objetivo de calidad en campos electromagnéticos establecido por las directrices italianas.

En el estudio de Veronesi *et al.* (2017) para la selección de sitio de torres de transmisión no consideraron áreas protegidas, ya que se indica que está prohibido construir sobre ellas y, por lo tanto, consideraron enmascarar del ráster este criterio.

Para la ubicación idónea de un parque eólico el estudio de Moradi *et al.* (2020) utilizó un método restrictivo que consistió en tres subcapas: estructural, topográfica y ecológica. Este método empleó la lógica booleana para determinar la viabilidad de establecer un parque eólico según un criterio predefinido. La lógica booleana aplica una condición binaria a las entradas y evalúa una condición binaria para la salida, representando las condiciones falsas como 0 y las condiciones correctas como valores distintos de 0. En este enfoque, cada criterio clasificó el área de estudio en dos categorías discretas: 1 para las zonas con posibilidad de instalar un parque eólico y 0 para las zonas con restricciones para su ubicación.

2.5. Jerarquía de la mitigación

Atendiendo a la urgencia de manejar los posibles efectos derivados de los proyectos de desarrollo sobre el medio ambiente surge la denominación de “Jerarquía de la Mitigación” como una herramienta que se fundamenta en una sucesión de pasos esenciales que deben considerarse durante todo el ciclo de vida del proyecto, con el propósito de reducir cualquier repercusión adversa en la biodiversidad, los cuales consisten en cuatro acciones clave (TBC, 2006):

- a) Evitar: el más importante y el primer componente de la Jerarquía de la mitigación que consiste en tomar acciones para prevenir impactos desde el inicio, como una cuidadosa elección de la ubicación, tanto espacial como temporal, de la infraestructura o la perturbación mediante la selección del lugar, el diseño del proyecto y/o la planificación. La prevención suele ser la forma más sencilla, económica y efectiva de mitigar posibles impactos negativos, aunque exige ser considerada desde las etapas iniciales del proyecto.
- b) Minimizar: es una etapa que implica medidas destinadas a disminuir la duración, intensidad y/o magnitud de los impactos que no se pueden evitar por completo, mediante controles físicos, operativos o de mitigación.

- c) **Rehabilitar/ Restaurar:** se refiere a las acciones implementadas para rehabilitar ecosistemas que han sido degradados o afectados después de la exposición a impactos que no se pueden evitar o reducir completamente.
- d) **Compensar:** se trata de la última medida para abordar los efectos residuales significativos que no se hayan podido evitar o minimizar, ni corregir adecuadamente mediante la restauración/rehabilitación, lo que incluye también acciones de conservación adicionales.

Asimismo, según el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas (Decreto Supremo N°014-2019-EM), se requiere que el titular del proyecto aplique la Jerarquía de Mitigación desde la etapa de planificación de la inversión. El objetivo es seleccionar un enfoque que prevenga o minimice la mayor cantidad posible de impactos ambientales negativos, siguiendo el siguiente orden de prioridad: medidas de prevención, medidas de minimización, medidas de rehabilitación y, finalmente, medidas de compensación ambiental.

2.6. Sistemas de información geográfica (SIG)

En términos generales los Sistemas de Información geográfica (SIG) son bases automatizadas de datos referenciados geográfica y espacialmente que permiten incorporar procesos de análisis de la información. La principal ventaja de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) radica en su capacidad para vincular de manera interrelacionada la información disponible para un propósito específico en una zona determinada, permitiendo manejar múltiples variables relacionadas con dicho espacio y combinarlas de diversas maneras. Esto amplía las posibilidades de análisis más allá de lo que ofrecen los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y actualización (Sandia & Henao, 2001).

El SIG facilita a los usuarios la recopilación, verificación, procesamiento, almacenamiento, análisis, predicción, actualización y visualización de datos espaciales que están relacionados con ubicaciones en la superficie terrestre. Este sistema tiene la capacidad de representar diversos tipos de datos en forma de mapas y asiste a los usuarios en la comprensión de patrones, tendencias y relaciones entre ellos (Al-Ramadan, 2002; Al-Ramadan, 2009; Manson *et al.*, 2015).

Las implementaciones exitosas de la tecnología SIG han sido bien documentadas en diferentes sectores de la ingeniería, como la programación de la construcción (Poku & Ardit, 2006), la evaluación forestal (Narulita, Zain, & Prasetyo, 2016), mapeo del uso y la cobertura de la tierra (Hua & Ping, 2018), mapeo de peligros naturales y biodiversidad (Caniani *et al.*, 2016), gestión de recursos naturales y desastres (Rahmati, Pourghasemi, & Melesse, 2016), protección ambiental (Tomaschek *et al.*, 2016), selección de lugares turísticos (Rahayuningsih, Muntasib, & Prasetyo, 2016), planificación de sistemas de energía (Yadav, 2013) y proceso de toma de decisiones (Turk, Kitapci, & Dortyol, 2014).

En general, la implementación de SIG prevalece en diferentes partes del sistema eléctrico como se resume en la Figura 2 (Shafiullah *et al.*, 2016). Entre ellas se visualiza su aplicación en la selección de rutas entorno a la transmisión eléctrica.

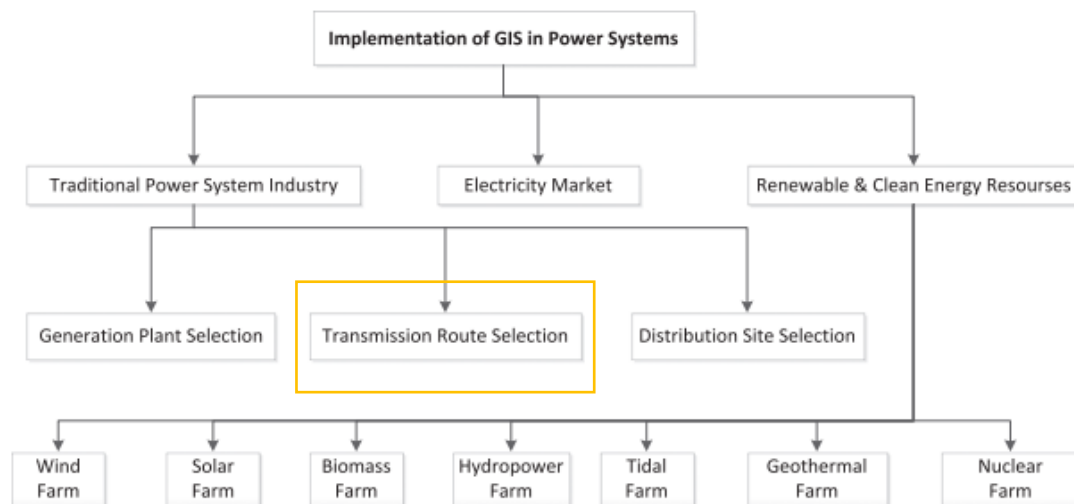


Figura 2. Implementación de la SIG en el sistema de energía
FUENTE: Shafiullah *et al.* (2016)

Las tecnologías de análisis espacial desempeñan un papel muy importante en la planificación, el seguimiento y la gestión de la red al considerar de manera integral los problemas sociales, ambientales y económicos. El análisis espacial, el corazón de los SIG, proporciona una plataforma integrada para la gestión y planificación adecuadas de los sistemas de energía. El papel principal de esta tecnología incluye: (i) desarrollar modelos espaciales para estaciones generadoras de energía, redes de transmisión y subestaciones de distribución; (ii) determinar las ubicaciones adecuadas para las estaciones de generación y distribución de energía y el enrutamiento óptimo de las redes de transmisión; y (iii) la integración de los recursos energéticos renovables con el sistema de planificación y gestión. En relación con las líneas de transmisión, las técnicas para el enrutamiento han evolucionado

a lo largo de los años, y hoy en día los SIG ayudan a identificar rutas más adecuadas (Shafiullah *et al.*, 2016).

Así también, según Araneo, Celozzi, & Vergine (2015) el sistema GIS puede reunir grandes cantidades de datos de diversos factores y criterios en un análisis significativo que genera resultados de forma gráfica. Los resultados, ya sea visual o estadísticamente, ayudan a transmitir el corredor donde se puede enrutar la nueva línea de conexión con un costo ambiental mínimo.

Para abordar el desafío en el enrutamiento de líneas de transmisión, muchas empresas de servicios públicos aprovechan los avances en los SIG para analizar, modificar y finalmente presentar las diferentes rutas propuestas consideradas en los proyectos de planificación de expansión de la transmisión. La oposición de la población a las líneas de transmisión es con frecuencia una fuente importante de retraso en los proyectos de transmisión. Por lo tanto, para ayudar a obtener la aceptación del público, algunos trabajos explotan aún más las capacidades del software SIG al incorporar la entrada el interés del público en el sistema de información geográfica en la fase inicial de los proyectos. Asimismo, otros se han centrado en desarrollar metodologías para incluir factores no eléctricos, asignando factores de ponderación a factores ambientales y geográficos (Fatou & Christopher, 2016).

En ese sentido, la evaluación de las alternativas debe basarse en el análisis de una serie de atributos o características ambientales y sociales de acuerdo con su sensibilidad y representarse en forma cartográfica mediante el uso de SIG.

2.7. Toma de decisiones

Los seres humanos son esencialmente responsables de tomar decisiones, ya sea de manera consciente o inconsciente, basadas en la comprensión del problema, la necesidad y el propósito de la decisión, así como en los criterios, subcriterios, grupos de interés, grupos afectados y las posibles acciones alternativas. La tarea consiste en identificar la mejor opción o, en el caso de la asignación de recursos, en priorizar para asegurar que cada alternativa reciba la parte adecuada de los recursos disponibles. Sin embargo, la evaluación de factores intangibles en las decisiones ha sido un desafío persistente para la comprensión humana, ya que hay muchos aspectos importantes que no tienen una medida precisa. Es crucial interpretar las mediciones numéricas en términos de su utilidad y significado, priorizándolas según su relevancia para los valores específicos en cada decisión. Dado que la importancia

de estos factores varía según el contexto, es fundamental aprender a establecer prioridades relativas efectivas en la toma de decisiones (Saaty, 2008).

Las técnicas de análisis de decisiones multicriterio (MCDA) son muy adecuadas para tomar decisiones que inciden en el medio ambiente, las cuales se tornan complejas y deben recurrirse a especialistas de campos multidisciplinarios (Fuentes & Ferrer, 2015). El término MCDA se utiliza genéricamente para describir diferentes métodos que utilizan diversos criterios, ya sea individualmente o en grupo, para resolver un problema o tomar una decisión sobre una situación determinada (Belton & Theodor, 2002).

Según Suárez-Vega *et al.*, (2011) se han desarrollado técnicas de Análisis de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDA) con el propósito de abordar situaciones de toma de decisiones en las que se deben considerar numerosas opciones factibles. Estas opciones son evaluadas según diversos criterios, los cuales pueden entrar en conflicto y resultar difíciles de comparar entre sí.

También, Zabihi *et al.*, (2020) refiere que los métodos de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDA) se consideran como la mejor herramienta para resolver problemas ambientales en los estudios mencionados.

En ese sentido, el uso de técnicas multicriterio en la toma de decisiones ambientales, incluida la selección entre varias alternativas, es importante cuando implica decisiones complejas en una serie de campos disciplinarios. La más utilizada de estas técnicas es el proceso de jerarquía analítica (AHP) ya que es uno de los métodos más completos que se ha considerado para la toma de decisiones multicriterio (Fuentes & Ferrer, 2015).

2.7.1. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

Como se vio anteriormente, el sistema de planificación tiene un papel importante en la gestión y control de las tendencias de desarrollo. Así, el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) es una técnica ampliamente utilizada en el método MCDA para la planificación y gestión adecuada del territorio (Chandio *et al.*, 2012).

El propósito general del método AHP es apoyar a los tomadores de decisiones en la selección de la mejor alternativa de las diversas alternativas de elección posibles bajo la presencia de múltiples prioridades (Jankowski, 1995).

El proceso de jerarquía analítica es un sistema de toma de decisiones multicriterio propuesto por Saaty (1980, 1994, 1999), el cual se fundamenta en evaluar mediciones relativas de

criterios intangibles con el fin de realizar un análisis de decisiones. El problema de decisión se desglosa en diferentes niveles de tal forma que se establece una jerarquía con relaciones unidireccionales entre cada nivel. El nivel más alto de la jerarquía contiene el objetivo deseado y el más bajo las alternativas. Los niveles intermedios contienen los criterios, y si es necesario subcriterios, que se utilizan como base para tomar la decisión en la Figura 3 (Fuentes & Ferrer, 2015). Así, la jerarquía permite la evaluación de la contribución del criterio individual en los niveles más bajos que se hace al criterio en los niveles más altos de la jerarquía.

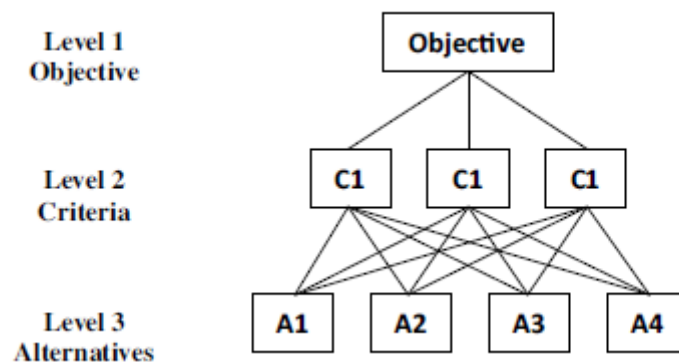


Figura 3. Esquema del proceso de jerarquía analítica
FUENTE: Adaptado de Fuentes-Bargues & Ferrer-Gisbert (2015)

El Proceso AHP, conocido también como la teoría de la medición mediante comparaciones por pares, se fundamenta en los juicios de expertos para establecer escalas de prioridad que reflejan la prevalencia de un factor sobre otro en relación con una propiedad compartida. Estas escalas de prioridad permiten la medición relativa de factores intangibles (Saaty, 2008).

Actualmente, AHP es una de las técnicas de toma de decisiones basadas en múltiples criterios más extendidas, debido a su flexibilidad para integrarse con diversas metodologías como Despliegue de Funciones de Calidad, Lógica Difusa y Programación Lineal (Zahibi *et al.*, 2020)

Además, esta metodología facilita la obtención de los pesos en la función ponderada cuando no están previamente establecidos. Esto se logra a partir de una matriz de comparación por pares que refleja la importancia relativa entre los criterios, cuyos pesos se derivan del vector propio correspondiente al valor propio más dominante de dicha matriz (Saaty T. L., 1977).

Este esquema fue empleado por primera vez en 1980 por Saaty (Saaty, 1990). Esta técnica proporciona una formulación del problema jerárquico junto con la competencia de tener en

cuenta criterios cualitativos y cuantitativos en la interpretación de problemas (Koundinya, Chattopadhyay, & Ramanathan, 1995). Este método tiene diversas selecciones en la toma de decisiones, comprendiendo análisis de idoneidad sobre los criterios y subcriterios. Además, AHP señala la compatibilidad e incompatibilidad de decisiones que es una de las ventajas excepcionales de este procedimiento en la toma de decisiones multicriterio (Moradi *et al.*, 2020).

Saaty (2008) describe los cuatro pasos del AHP de la siguiente manera:

- 1) Definiendo el problema.
- 2) Crear una jerarquía de decisiones.
- 3) Construir un conjunto de comparaciones por pares relacionadas con el problema de investigación.
- 4) Ponderación de los criterios en comparación utilizando las prioridades derivadas de los pasos anteriores.

Para determinar las prioridades de las alternativas sobre la base de los criterios seleccionados, este método utiliza comparaciones por pares para asignar ponderaciones a los elementos en cada nivel midiendo su importancia relativa por medio de una escala fundamental de 1 a 9, donde 1 representa dos criterios de igual importancia y 9 indica el orden de diferencia más fuerte entre dos criterios evaluados, se observa en la Tabla 1. Se definen las razones de preferencia (al comparar alternativas) y las razones de importancia (al comparar criterios). Así, el cálculo de los pesos se logra utilizando una matriz de preferencia donde cada criterio se compara con todos los demás en una comparación por pares.

Tabla 1: Escala fundamental

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
2	Débil o leve	
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra
4	Más moderado	
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
6	Fuerte plus	
7	Muy fuerte o importancia demostrada	Se favorece mucho una actividad sobre otra; su dominio demostrado en la práctica
8	Muy, muy fuerte	
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación.
1.1 - 1,9	Cuando las actividades están muy cerca, se agrega un decimal a 1 para mostrar su diferencia según corresponda	Una técnica alternativa más efectiva para asignar los valores pequeños es comparar dos actividades cercanas con otras que difieran ampliamente, dando una ligera preferencia a la actividad más grande sobre la más pequeña cuando se utilizan los valores del 1 al 9.
Recíprocos de arriba	Si actividad <i>i</i> tiene asignado uno de los números distintos de cero anteriores en comparación con la actividad <i>j</i> , luego <i>j</i> tiene el valor recíproco en comparación con <i>i</i>	Una suposición lógica
Mediciones de escalas de razón		Cuando se necesiten aplicar estos números en contextos físicos, usualmente se estima las proporciones de esas magnitudes mediante el juicio.

FUENTE: Adaptado de Saaty (2008)

La matriz *A* de comparaciones por pares es una matriz $n \times n$ cuadrada en la que a_{ij} expresa la preferencia como un valor numérico del elemento en la fila *i* cuando se compara con el elemento en la columna *j*, es decir, $a_{ij} = w_i / w_j$. Si hay *n* elementos para comparar, la matriz de comparación *A* se define como:

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

FUENTE: Adaptado de Saaty (2008)

donde w_1 / w_2 expresa la preferencia del elemento en la fila 1 en comparación con el elemento en la columna 2, y su valor se llama a_{12} y w_2 / w_1 expresa la preferencia del elemento en la fila 2 en comparación con el elemento en la columna 1, y su valor se llama a_{21} .

Después de comparar todos los pares, el vector de ponderación de prioridad (w) se calcula como la única solución para $A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$, en el que λ_{\max} es el valor propio más alto en la matriz A y w es su vector propio.

Una de las ventajas de AHP es que brinda la posibilidad de definir la compatibilidad de los juicios para cada criterio. El mecanismo dispuesto que planeó evaluar la adaptabilidad de los juicios es el cálculo de la Relación de Consistencia. El índice de consistencia (CR) expresa qué tan coherente es el tomador de decisiones con sus respuestas. En conjunto, una cantidad de 0,10 o superior recomienda que el tomador de decisiones reconsidere las respuestas en el curso de la comparación por pares. En una matriz consensuada, el valor propio principal (λ_{\max}) siempre es mayor o corresponde al número de filas o columnas (n) si una comparación por pares no implica ninguna incompatibilidad, $\lambda_{\max}=n$.

Un índice de consistencia (IC) que muestra la incompatibilidad de las comparaciones por pares se puede evaluar de la siguiente manera (Saaaty, 1990):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Además, se puede calcular una medida de las evaluaciones por pares mediante la siguiente ecuación en términos de relación de consistencia (CR):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Los valores del índice aleatorio (RI) se muestran en la Tabla 2. RI se utiliza para calcular CR, que varía con el tamaño de la matriz. En general, si el índice CR es inferior a 0,1, el juicio puede considerarse coherente. De lo contrario, En caso contrario, los encargados de la toma de decisiones deben reconsiderar sus elecciones. (Kablan, 2004).

Tabla 2: Valores de ratio de consistencia

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.4	1.45	1.49

FUENTE: Fuentes & Ferrer (2015)

Los pasos siguientes son (Carrión, y otros, 2008):

- a) Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparación por pares;
- b) Dividir cada punto de la matriz por la sumatoria de su columna (normalizando);
- c) Calcular el promedio de las cantidades en cada fila de la matriz normalizada.

2.7.2. Juicio de expertos

Trabajar con expertos en la toma de decisiones ambientales es fundamental para aprovechar la riqueza del conocimiento que se requiere para resolver problemas complejos. Muchos campos se han beneficiado de este enfoque ya que se busca que las decisiones se basen en función al conocimiento de un colectivo (Senante *et al.*, 2015).

El juicio de expertos se define como la opinión fundamentada de personas con experiencia en el área, reconocidas por otros como calificadas en el tema y capaces de ofrecer información, evidencias, evaluaciones y valoraciones (Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez, 2008).

Seleccionar a las personas para participar en el juicio de expertos es una etapa crucial del proceso. En este contexto, Skjong & Wentworth (2000) sugieren los siguientes criterios para elegir a los participantes: (a) experiencia en tomar decisiones y emitir juicios basados en evidencia o conocimiento especializado (como investigaciones, publicaciones, posición, grados, experiencia y premios), (b) reconocimiento dentro de la comunidad, (c) motivación y disposición para participar, y (d) imparcialidad y cualidades personales como confianza y adaptabilidad. Además, señalan que los expertos pueden tener similitudes en educación, entrenamiento o experiencia, pero en estos casos, contar con un gran número de expertos no resulta beneficioso.

También, Bogner, Littig, & Menz (2009) sostienen que, en el proceso de selección de entrevistados, se identifica a un experto como una persona que posee un profundo entendimiento técnico, de procedimientos y de interpretación dentro de su área de especialización. Por otro lado, Meuser & Nagel (1991) definen a un experto como alguien

que asume la responsabilidad de un concepto, la ejecución de una idea o la capacidad para resolver problemas, además de poseer conocimientos factuales pertinentes y un conocimiento detallado o específico sobre procesos, dinámicas grupales y decisiones estratégicas. Asimismo, un experto se caracteriza por tener acceso privilegiado a información y conocimiento, ya sea de carácter general o específico.

Por otro lado, la cantidad de expertos necesarios en un juicio varía según el nivel de experiencia y diversidad del conocimiento (Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez, 2008); también, (Zahibi *et al.*, 2020) consideran que depende de la disponibilidad y accesibilidad. Sin embargo, diferentes autores tienen opiniones diversas sobre la cantidad adecuada de expertos: Gable & Wolf (1993), Grant & Davis (1997), y Lynn (1986) (citados en (McGartland *et al.*, 2003)) sugieren de dos a veinte expertos, mientras que (Hyrkäs, Appelqvist-Schmidlechner, & Oksa, 2003) afirman que un total de diez expertos sería suficiente para llevar a cabo una evaluación confiable de la validez de contenido de un instrumento.

En esa línea, se tiene que existe una falta de investigación que especifique el número de expertos necesarios para aplicar técnicas de decisión grupal como AHP (Nixon, Dey, & Davies, 2010).

En el estudio de Zahibi *et al.* (2020) realizaron 35 entrevistas, en la cual los expertos que participaron fueron cuidadosamente seleccionados con el fin de obtener información en profundidad sobre cómo la idoneidad del ecoturismo que podría afectar a la industria del turismo. Se aplicaron tres criterios para la selección de expertos para integrarse al panel: en primer lugar, se eligió a algunos expertos habían trabajado como ingenieros ambientales en el campo del turismo o dentro de departamentos gubernamentales culturales; en segundo lugar, otros expertos que trabajaron en proyectos relacionados con la economía del turismo; en tercer lugar, se consideró el número de años de experiencia como criterio importante para considerarlos expertos en la materia, ya que se pensó que aumentaría la confiabilidad de sus respuestas.

Mientras que en el estudio de (Moradi *et al.*, 2020) se eligieron 8 expertos para la selección de sitio de un parque eólico. Los expertos principalmente fueron profesores universitarios e investigadores en el campo de las energías renovables y los cuestionarios se enviaron por correo electrónico y en algunos casos se presentaron en persona.

2.8. Antecedentes de SIG y toma de decisiones

El uso de la tecnología informática como una herramienta para la toma de decisiones es común en la actualidad. En este sentido, es importante que la tecnología SIG se integre en el proceso de toma de decisiones para lograr el desarrollo sostenible. Para alcanzar este enfoque, es fundamental que utilicemos la tecnología informática en el proceso de planificación y desarrollo para reducir la intensidad de los riesgos futuros desde el inicio (Chandio *et al.*, 2012).

El crecimiento en la disponibilidad y utilización de datos geospaciales digitales, así como de herramientas, ha incrementado el desarrollo de análisis geográficos, los cuales pueden ser útiles en la toma de decisiones y en la planificación del uso del suelo. En consecuencia, para llevar a cabo este tipo de análisis, el profesional en sistemas de información geográfica (SIG) debe garantizar la disponibilidad de los datos geospaciales pertinentes. De lo contrario, será necesario que el analista desarrolle las capas de SIG necesarias (López-Marrero *et al.*, 2011).

El proceso considerado de elaboración de decisiones sobre proyectos de transmisión incluye dos etapas. El primero está asociado a estudios relacionados con los criterios relevantes para la decisión, que permiten formar las estimaciones más racionales de los lotes considerados; estos criterios suelen tener carácter espacial. Por lo que, los modelos propuestos asumen el uso de SIG para el apoyo al análisis de este tipo de problemas (Ekel, *et al.*, 2019).

2.8.1. AHP basado en SIG

El análisis de decisiones multicriterio basado en SIG consiste en una serie de técnicas utilizadas para resolver problemas espaciales, evaluando y ponderando diversos criterios en el proceso de toma de decisiones (Dedemen, 2013). Estas técnicas han sido ampliamente utilizadas en el pasado para resolver problemas geográficos complejos (Veronesi *et al.*, 2017).

La técnica AHP basada en SIG puede ser beneficiosa para futuros trabajos de investigación y ayudará en diferentes campos, como la ingeniería y la planificación, ya que se puede obtener una visión y comprensión profundas de la extensión del AHP en un análisis de idoneidad de la tierra (Chandio *et al.*, 2012).

Con el objetivo de prevenir potenciales áreas de riesgo socioambiental, un enfoque de AHP respaldado por sistemas de información geográfica (SIG) busca establecer un modelo en las fases iniciales, con el propósito de guiar a los encargados de la toma de decisiones en la

asignación de diversos proyectos de desarrollo pudiendo brindar la oportunidad de evaluar sitios óptimos (Chandio *et al.*, 2012).

El proceso de AHP (Saaty, 1980) es un instrumento de toma de decisiones de criterios múltiples que también combina las funciones de análisis espacial del SIG en el análisis de idoneidad de la tierra produciendo mapas de idoneidad (Chandio *et al.*, 2011).

El AHP basado en SIG está bien establecido en el análisis espacial para la selección de sitios adecuados (Mohit & Ali, 2006). Se utilizan ejemplos de enfoques de idoneidad de la tierra para ubicar diferentes instalaciones (Chandio *et al.*, 2011); por ejemplo, selección de sitios de relleno sanitario (Abdullah, Naim, & Wahab, 2011) y análisis de idoneidad de la tierra (Jafari & Zaredar, 2010).

Asimismo, en el trabajo de (Ekel, *et al.*, 2019), el problema de construir las rutas de las líneas de transmisión se formula como una tarea de ruta más corta multiobjetivo: es necesario minimizar los costos tanto técnico-económicos como socioambientales. El costo de cada línea de transmisión depende de las zonas por las que pasa. Para reflejar esto, utilizaron SIG. Así, los costos de instalación y socioambientales se obtienen a través de mapas relacionados con varios aspectos, tales como: pendiente, área de protección ambiental, vegetación, entre otros.

En ese sentido, Tudes y Yigiter (2010) describieron el SIG y el MCDA como un paso importante en la selección del sitio que emplea un enfoque de planificación sostenible del uso de la tierra.

2.9. Sensibilidad socioambiental

Las consideraciones de sensibilidad ambiental son fundamentales en la gestión de los recursos naturales, especialmente al analizar las interacciones entre la sociedad y los ecosistemas. A pesar de su uso común, no existe una definición universal para la sensibilidad ambiental, y no hay consenso sobre cómo se puede aplicar mejor a todas las evaluaciones. Algunos señalan los atributos específicos de un sistema ecológico que lo hacen más o menos susceptible al peligro, mientras que otros atribuyen la responsabilidad de un sistema a sufrir daños por tensiones externas. Diversas definiciones reúnen la susceptibilidad y la resistencia del receptor, y señalan que la sensibilidad es el grado en que un sistema puede o no puede hacer frente a los efectos adversos (González Del Campo, 2017).

En este punto, también nos puede venir a la mente el concepto de riesgo ambiental, que según la definición de la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales define como “la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico” (MINAM, 2011). Sin embargo, para obtenerlo se consideran componentes como la probabilidad multiplicado por la gravedad de la consecuencia, que esta a su vez corresponde a la sumatoria de los límites del entorno (cantidad, peligrosidad y extensión) y la vulnerabilidad (AENOR, 2008). Asimismo, el concepto de riesgo ambiental se incluye en la etapa del estudio de impacto ambiental (MINAM, 2009).

En contraste, la sensibilidad se determina mediante la evaluación integrada de la importancia ecológica de los componentes analizados y su vulnerabilidad frente a los impactos ambientales derivados de intervenciones humanas. En consecuencia, la sensibilidad se refiere a una simplificación y un alto nivel de agregación de la información ambiental, lo que facilita una comprensión simplificada del área de estudio en relación con sus componentes ambientales (Salas, 2002).

Por otro lado, (Sandia & Henao, 2001) sugieren que la sensibilidad ambiental se entiende como el potencial de impacto que pueden experimentar o provocar los componentes ambientales debido a la alteración de los procesos físicos, bióticos y socioeconómicos que los definen, tanto por actividades humanas como por procesos naturales de desestabilización ambiental. Por lo tanto, la aplicación del análisis de sensibilidad ambiental mediante criterios de valoración de los aspectos ambientales y sociales a través de un SIG permite identificar los niveles de fragilidad y orientar las potencialidades y limitaciones ambientales del área de estudio.

De esta manera, contamos con una herramienta para el análisis de sensibilidad socioambiental que puede utilizarse en la selección de los componentes de un proyecto de transmisión de energía eléctrica que se desarrolla en una primera fase y que contribuirá con la sostenibilidad del proyecto (Arica, Morales, & Rivera, 2020).

2.9.1. Estudios de Sensibilidad ambiental en diversos sectores

Existen experiencias de estudios de sensibilidad ambiental que han sido aplicados en la selección de alternativas para el emplazamiento de proyectos como acueductos para suministro de agua (Núñez, 2014), elección de área adecuadas para el desarrollo de energía eólica (AIRO, 2014) e inclusive usados para establecer procedimientos de respuesta rápida

ante un posible derrame de petróleo mediante el mapeo de las áreas que representan vulnerabilidad (IPIECA, 2012).

En la Provincia de Salta, Argentina, se requirió la construcción y operación de un acueducto para el suministro de agua para una planta de producción de nitrato de amonio, ubicada en las cercanías de la localidad El Tunal, para lo cual se analizaron cuatro alternativas para las trazas de acueducto dependiendo de la sensibilidad ambiental, cual se analizó a través de factores físicos, biológicos y socioeconómicos (paisajes): escorrentía superficial, topografía, tipo de suelo, flora - fauna y usos del suelo. Para la generación de mapas de sensibilidad ambiental se utilizó un polinomio ponderado cuyos pesos se definieron en base a consultas con expertos (Núñez, 2014).

Por otro lado, el equipo de planificación del Ayuntamiento de Kildare llevó a cabo un examen espacial estratégico de las áreas adecuadas para el desarrollo de la energía eólica. En ese proceso, se agregaron conjuntos de datos espaciales para identificar las limitaciones ambientales y de planificación para el desarrollo. Al hacerlo, se asignaron puntuaciones muy altas a una serie de criterios para clasificarlos automáticamente como extremadamente sensibles, haciendo que las áreas asociadas sean deliberadamente inadecuadas para el desarrollo de energía eólica (González Del Campo, 2017).

Asimismo, los Mapas de Sensibilidad Ambiental (ESI) son de gran interés para generar información sobre la sensibilidad de la línea costera y proporcionar un resumen conciso de los recursos costeros que están en riesgo, además de permitir elegir estrategias de limpieza sólidas. Así, es el caso del Estrecho de Gibraltar separa Europa y África que constituye una importante zona de tránsito marítimo con un alto riesgo asociado de accidentes por derrames de petróleo, para lo cual se ha realizado un estudio geomorfológico y medioambiental para obtener Mapas ESI para eventos de contaminación de playas a lo largo de la costa protegida de Jbel Moussa (costa norte del Mediterráneo de Marruecos), que pertenece a la Reserva de la Biosfera Intercontinental del Mediterráneo (IBRM) y está declarado como sitio RAMSAR (Nachite *et al.*, 2020).

2.9.2. Mapeo de sensibilidad

Los Mapas de Sensibilidad Ambiental son sin duda importantes para definir a priori los planes de contingencia, acciones correctivas, de mitigación o compensación a la ocurrencia de daños al medio ambiente (Núñez, 2014).

Según la Guía IPIECA (2012) los mapas de sensibilidad proporcionan una visión general completa del territorio y los recursos sensibles en riesgo en caso de un derrame de petróleo.

De esta guía se desprenden dos tipos de mapas de sensibilidad, los cuales se detallan a continuación:

A) Mapas de sensibilidad táctica

Los mapas tácticos se emplean como una herramienta integral para la planificación y ejecución de acciones. Estos mapas proporcionan a los equipos de respuesta información detallada sobre aspectos ambientales, socioeconómicos, logísticos y operativos necesarios para planificar y llevar a cabo operaciones de respuesta y protección. Además, pueden contener datos adicionales, como pautas técnicas de limpieza, medidas de protección ambiental y recomendaciones de restauración, para facilitar su uso por parte del usuario. En contraste, los mapas tácticos proporcionan al planificador una perspectiva detallada de los distintos tipos de entornos que podrían ser impactados por un derrame, como playas de arena, costas rocosas y pantanos, lo que permite ajustar el equipo de limpieza según sea necesario. Asimismo, deben tener en cuenta las restricciones operativas, como el acceso limitado o las áreas peligrosas, que el planificador debe considerar al diseñar la estrategia de respuesta.

B) Mapas estratégicos de sensibilidad

Los mapas de sensibilidad estratégica se diseñan con el fin de ofrecer una visión panorámica y resumida de la información, permitiendo así identificar y priorizar los lugares más sensibles. Estos mapas son utilizados por los encargados de la toma de decisiones para identificar y priorizar estas áreas. Los mapas estratégicos, que destacan los sitios más sensibles, son empleados por los planificadores y tomadores de decisiones para apoyar la formulación de la estrategia de respuesta global y determinar las acciones de mayor relevancia. Además, se analiza la viabilidad técnica de las operaciones de protección en los sitios sensibles.

2.10. Proyecto de Línea de Transmisión COYA

El Reglamento de Transmisión (DS N° 027-2007-EM) establece que el Plan de Transmisión, cuya actualización recae en el Comité de Operación Económica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (COES), tiene como objetivos principales identificar las obras de transmisión necesarias para un suministro económico y seguro de energía eléctrica, garantizando la calidad del servicio y la seguridad. Además, fomenta el desarrollo de

infraestructuras de transmisión con justificación económica, la expansión de la cobertura eléctrica y la integración de regiones aisladas eléctricamente.

Dentro de este marco normativo, en el marco de este reglamento se contempla el Plan Vinculante que abarca tanto los proyectos de nueva construcción como las mejoras incluidas en el Plan de Transmisión.

Ahora bien, para la presente investigación se hace referencia al Plan Vinculante para el año 2020 del Plan de Transmisión 2015 – 2024 que incluye la implementación del proyecto “Enlace 500 kV Mantaro - Nueva Yanango – Carapongo y Subestaciones Asociadas” (Proyecto COYA), como se observa en la Figura 4 (COES SINAC, 2014).

Proyecto COYA está contemplado para tener un nivel de tensión de 500kV que corresponde a la categoría de “Muy alta Tensión”, su potencia de diseño (capacidad de transmisión por límite térmico) de 1400 MVA y establecido para atravesar tres departamentos del país, Huancavelica, Junín y Lima, con el propósito de fortalecer la red de transmisión en la región central del Perú; además, para facilitar la evacuación de la energía generada en exceso en la zona de Mantaro (Huancavelica) hacia Lima, anticipándose a la entrada en operación de nuevos proyectos de generación, incluidas fuentes de energía renovable, en esa área (CESEL, 2020).

En relación al Estudio de Impacto Ambiental detallado del Proyecto COYA, según el Informe N°00791-2020-SENACE-PE/DEIN que aprueba dicho estudio, se especifica que el Área de Influencia Directa abarca un total de 140 grupos de interés, que incluyen comunidades campesinas, centros poblados, asentamientos humanos, sectores y anexos. Estos grupos están distribuidos en las regiones naturales de Puna, Quechua, Rupa Rupa, Suni, Yunga Fluvial y Yunga Marítima. Además, dentro de estos grupos poblacionales se identifican veintidós (22) Pueblos Originarios, de los cuales dieciocho (18) son comunidades campesinas y cuatro (04) son localidades de origen quechua.

Plan Elegido 2020	
Proyecto Enlace 500 kV Mantaro - Nueva Yanango - Carapongo, subestaciones, líneas y ampliaciones asociadas:	
	LT Mantaro - Nueva Yanango 500 kV.
	LT Nueva Yanango - Carapongo 500 kV.
	LT Yanango - Nueva Yanango 220 kV.
	SE Nueva Yanango 500/220 kV.
Proyecto Enlace 500 kV Nueva Yanango - Nueva Huánuco, subestaciones, líneas y ampliaciones asociadas:	
	LT Nueva Yanango - Nueva Huánuco 500 kV.
	SE Nueva Huánuco 500/220/138 kV.
	LT Nueva Huánuco - Yungas 220 kV.
	SE Yungas 220 kV.
	LT Tingo María - Chaglla 220 kV.
	Seccionamiento en SE Nueva Huánuco de LT Chaglla - Paragsha 220 kV.
	Seccionamiento en SE Nueva Huánuco de LT Tingo María - Vizcarra 220 kV.
	LT Nueva Huánuco - Amarilis 138 kV.
Proyecto Cambio nivel de tensión a 500 kV LT Chilca - Planicie - Carabayllo 220 kV y ampliaciones asociadas:	
	Reconfiguración de LT Chilca - Planicie - Carabayllo de dos circuitos de 220 kV a uno de 500 kV y ampliaciones asociadas.
	Ampliación 500/220 kV en SE Chilca (segundo transformador).
	Ampliación 500/220 kV en SE Planicie (nuevo patio a 500 kV y un transformador).
Proyecto Repotenciación a 1000 MVA de LT Carabayllo - Chimbote - Trujillo 500 kV:	
	Repotenciación a 1000 MVA L.T Carabayllo - Chimbote 500 kV con inclusión de compensación de capacitores serie.
	Repotenciación a 1000 MVA L.T Chimbote - Trujillo 500 kV con inclusión de compensación de capacitores serie.

Figura 4. Plan Elegido 2020
FUENTE: (COES SINAC, 2014)

Según el Diario Gestión (2023), el proyecto COYA beneficiará a una población superior a los 12 millones de habitantes en las regiones de Huancavelica, Junín y Lima en Perú. Además, se considera un avance significativo en la transición energética nacional al fortalecer la infraestructura eléctrica y facilitar conexiones futuras tanto a nivel nacional como internacional.

III. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

La escala de análisis de la presente investigación es a nivel regional que abarca el trazo preliminar del Proyecto COYA desarrollado por Proinversión en el Plan Vinculante 2020 (COES SINAC, 2014), el cual establece su emplazamiento en las regiones de Huancavelica, Junín y Lima, tal como se observa en la Figura 5:

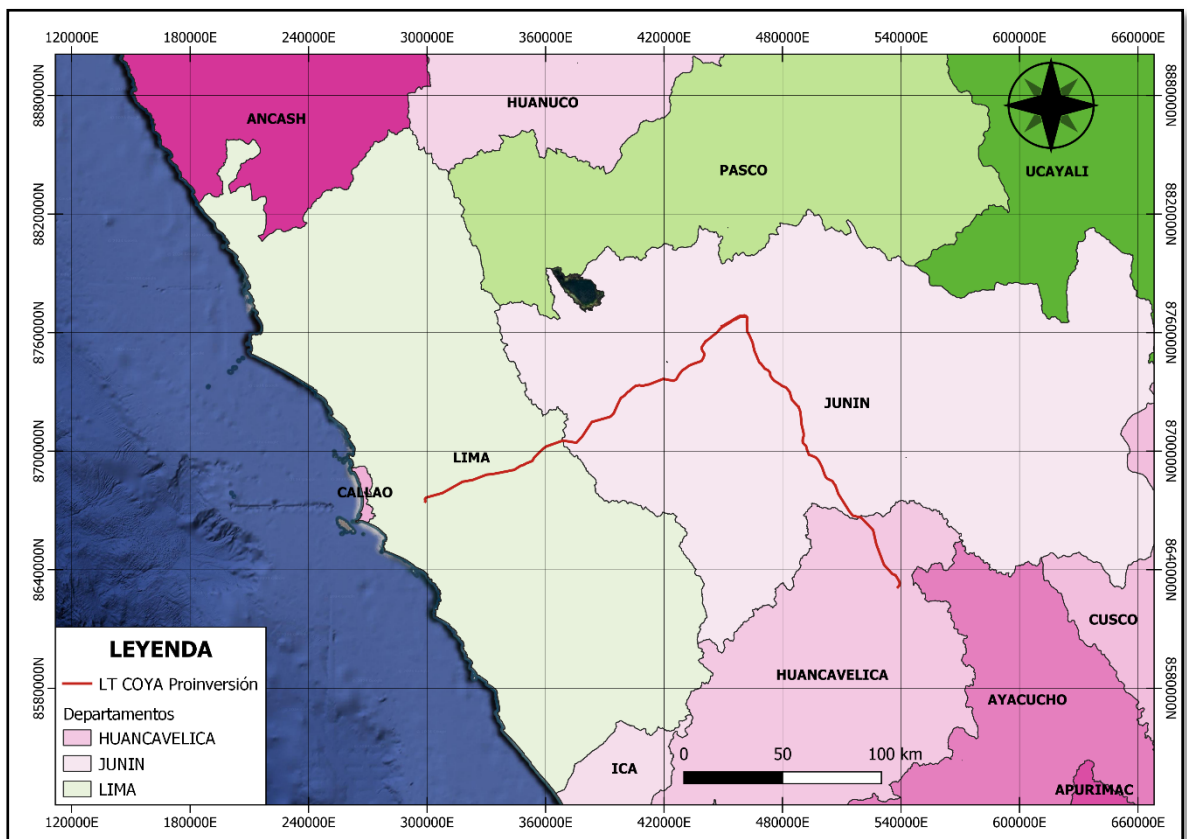


Figura 5. Área de estudio

La configuración de la línea del Proyecto COYA se establece como una “L” invertida, debido a que según el Plan Vinculante 2020 de la “Propuesta Definitiva de Actualización del Plan de Transmisión 2015 - 2024” (COES SINAC, 2014), este proyecto incluye la construcción de la Subestación eléctrica “Nueva Yanango” en el departamento de Junín y se

conectará a las Subestaciones eléctricas existentes Carapongo y Colcabamba, las cuales se ubican en el departamento de Lima y Huancavelica respectivamente.

3.2. Materiales:

Se basó en la recopilación de información secundaria disponible de bases ambientales en versión SIG en sitios oficiales de diferentes instituciones, en formato shape:

- Ministerio del Ambiente (MINAM).
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI)
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP).
- Ministerio de Cultura (MINCUL)
- Presidencia del Consejo de Ministros (PCM)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

a) Equipos

Para el presente estudio no se requirieron equipos más que el uso de una computadora portátil.

b) Programas

Para la elaboración de mapas se realizó a través del uso de un paquete de SIG del software Quantum GIS 3.16. (QGIS Development Team, 2022) y la última fase del procesamiento para la elaboración del mapa de sensibilidad socioambiental se realizó en el software R Studio (R Studio Team, 2022).

3.3. Métodos

A continuación, se describe el desarrollo de los métodos que se utilizaron para la selección de alternativas para líneas de transmisión eléctrica a través del análisis de sensibilidad socioambiental representado con un diagrama de flujo en la Figura 6:

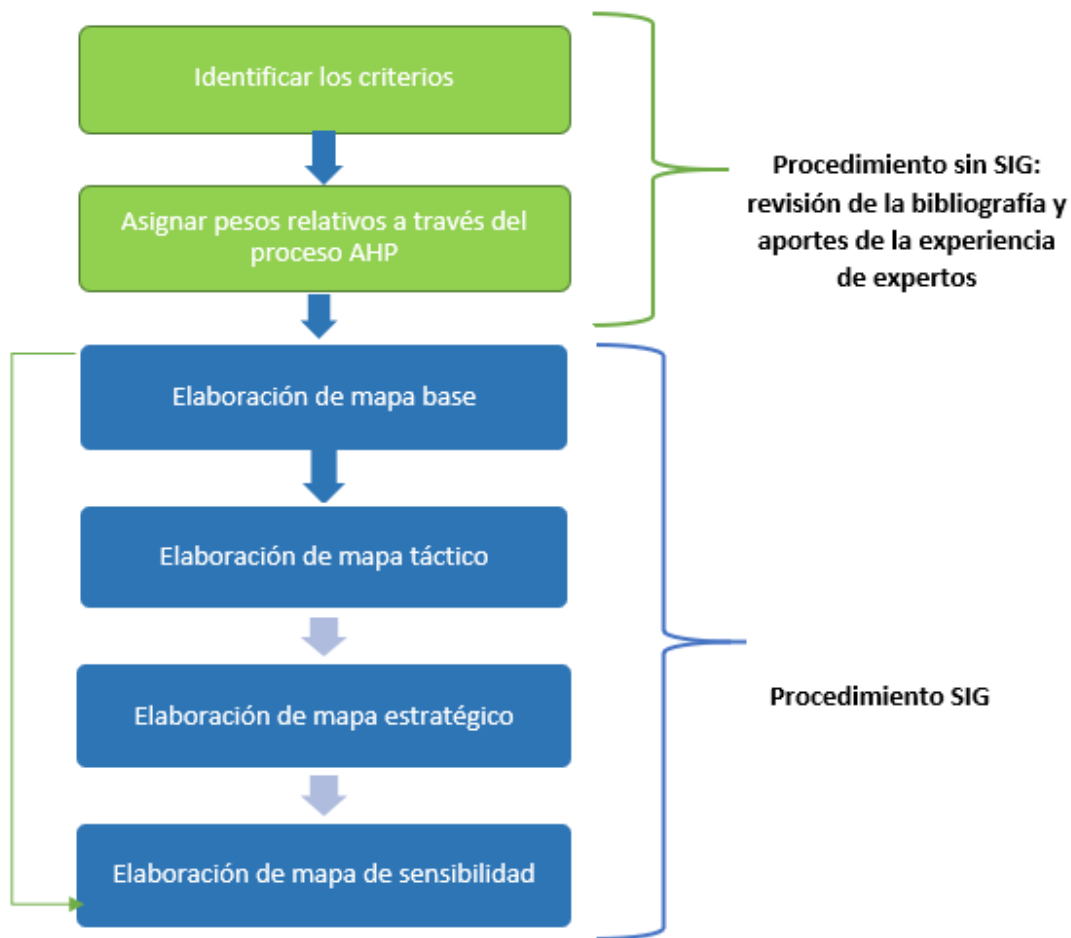


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología

3.3.1. Procedimiento sin uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):

3.3.1.1. Declarando el objetivo

Primero se procedió a definir el objetivo del análisis de la investigación.

3.3.1.2. Identificar criterios

El siguiente paso fue identificar los criterios que respaldan el objetivo establecido y determinar qué criterios son más importantes que otros para respaldar ese objetivo. El cual comprendió la revisión bibliográfica que determinó los criterios de los componentes físicos, biológicos y socioculturales. Para lo cual se revisó normativa nacional, internacional y diversas fuentes de información relacionada al análisis de alternativas en líneas de transmisión.

3.3.1.3. Asignar pesos relativos a través del proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

Después, se procedió a determinar los pesos relativos de los criterios establecidos en el paso anterior utilizando el método de jerarquía analítica desarrollado por Saaty (2008) aplicando las comparaciones por pares a un grupo de expertos con la finalidad de obtener las diferentes prioridades a los criterios planteados, para ello se asigna el peso de cada criterio en términos de su prioridad.

Se utilizaron los siguientes pasos para esta fase del análisis:

- a) Se eligieron los expertos de acuerdo con su experiencia en líneas de transmisión y en los componentes ambientales considerados; además, de su disposición y motivación para participar.
- b) Se construyó la matriz con todos los criterios enumerados en la parte superior (columnas) y los mismos factores enumerados en el lado izquierdo (filas) de esa matriz, divididos en los 3 componentes ambientales (físico, biológico, sociocultural) en un excel formulado, para que resulte automáticamente los pesos relativos. El formato de la matriz desarrollada se establece en el Anexo 1. El propósito de la matriz en esta investigación fue ayudar en el proceso de priorización de los criterios.
- c) Posterior, se realizó un video con la explicación del llenado correcto de la matriz por parte de los expertos participantes, debido a que la etapa de toma de datos se realizó durante la Emergencia Sanitaria por el COVID-19, en el cual:
 - o Se procedió a explicar a los expertos el objetivo del análisis de AHP, el cual consistió en producir un mapa que identificaría áreas idóneas para la ubicación de la Línea de Transmisión denominada COYA a través del proceso AHP.
 - o Luego, se pidió a los participantes que compararan el primer factor enumerado en el lado izquierdo de la matriz con el segundo factor enumerado en el lado superior e identificaran cuál es más importante para determinar el objetivo establecido según la escala de importancia indicada en la misma. Dado que la matriz es simétrica, solo es necesario completar la mitad superior de ella.
- d) Posterior a que cada experto respondiera a la matriz se realizó la prueba de consistencia según Saaty para validar el resultado, para lo cual se obtuvo una plantilla obtenida de la Plataforma Arcgeek (<https://arcgeek.com/>) que proporcionó las pruebas necesarias para

evaluar la consistencia de 3 y 4 criterios que contiene la matriz elaborada. Se muestra en el Anexo 2, dicha prueba.

- e) Lo siguiente consistió en que se usaran los puntajes calculados para derivar pesos proporcionales para cada criterio, sumando el total hasta uno. Primero, se realizó la suma de todos los puntajes y luego se dividió el puntaje del criterio particular entre la puntuación total de todos los factores. Esto se hizo para determinar el peso específico de ese criterio. Cada ponderación representa la importancia relativa que tiene cada factor en la consecución del objetivo del análisis.
- f) Seguidamente se obtuvo el promedio de valores relativos de todos los expertos para lograr valores relativos integrados.
- g) Estos pesos fueron posteriormente utilizados en el procedimiento con SIG para realizar el análisis y desarrollar el mapa final, como se explicará más adelante.

3.3.2. Procedimiento con uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):

Durante el proceso de elaboración de mapas, se agregaron múltiples capas geográficas para producir mapas que muestran la idoneidad de la ubicación de la Línea de Transmisión denominada COYA.

Los siguientes pasos describen el proceso que usamos para generar los mapas requeridos para el objetivo:

3.3.2.1. Elaboración del mapa base

En primer lugar, se desarrolló el Scoping que consiste en delimitar el alcance del estudio establecido por un área específica que permite la exploración preliminar y búsqueda de fuentes de información disponible de tipo físico, biológico y sociocultural de acuerdo con los criterios establecidos, para contar con un mapa base del área de estudio que permita realizar ajustes del trazo durante la ejecución de los estudios técnicos para evitar/minimizar áreas con alta sensibilidad. Esto se realizó a una escala de análisis a nivel regional que abarca el trazo preliminar del Proyecto COYA desarrollado por Proinversión en el Plan Elegido 2020 (COES SINAC, 2014), el cual establece su emplazamiento en las regiones de Huancavelica, Junin y Lima.

Para delimitar el área de estudio, se definió fijando los puntos de inicio y finalización de la nueva línea eléctrica a enrutar, considerando dos vectores de distancia: a y b, donde a es el vector que conecta los dos puntos extremos elegidos de la futura línea eléctrica, los cuales

corresponden a las ubicaciones de las subestaciones; b es un vector ortogonal con longitud igual a $0.6a$ (Araneo, Celozzi, & Vergine, 2015).

Para la realización del mapa base en el software QGIS se consideró lo siguiente:

- Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 84, ZONA 18S
- Se usó la herramienta **dissolver** para fusionar las LT que componen el proyecto COYA y luego la herramienta **buffer** con la distancia del cálculo que resulta en el vector b para elaborar el área de estudio a partir de las LT establecidas preliminarmente por Proinversión que son de acceso público.

3.3.2.2. Elaboración del mapa táctico

Posteriormente, se elaboró el mapa Táctico, según la Guía de IPIECA (IPIECA, 2012). Para la obtención de estos mapas se identificaron las áreas que representan alguna vulnerabilidad respecto al proyecto o que puedan afectar al mismo, los cuales fueron identificados en el paso 3.2.1.2 Identificar criterios, por cada componente (físico, biológico y sociocultural), para luego representarlos en los mapas tácticos que muestran información para conocer el terreno:

Para la realización de estos mapas se consideró lo siguiente:

- Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 84, ZONA 18S
- Se usó la herramienta corregir geometrías para los shapes que requieren corrección, que en la presente investigación se identificaron con errores a glaciares, concesiones forestales y ríos.
- También se usó la herramienta Clip para cortar los shapes obtenidos de las diferentes instituciones del estado en relación con el shape del área de estudio obtenido en el anterior paso.

3.3.2.3. Elaboración del mapa estratégico

Luego, se desarrolló el mapa Estratégico, según la Guía de IPIECA (IPIECA, 2012) que tiene como función sintetizar la información, ubicar y priorizar los sitios más vulnerables, reflejando el grado de esta con el entorno.

Se estableció una escala de colores para representar cada nivel de vulnerabilidad encontrado para cada criterio identificado que incluye desde 1: poco vulnerable, 3: medianamente

vulnerable y 5: muy vulnerable, de acuerdo con la vulnerabilidad que representa frente al establecimiento de LT, lo que significa normalizar dando valoración de escala a cada criterio.

Para la elaboración del mapa estratégico se generaron las capas SIG para cada criterio, ya sea de restricción o de factor con criticidad, se realiza según lo siguiente:

- Por un lado, realizar buffers para los criterios que contemplan algún tipo de vulnerabilidad en relación con las distancias, que en este caso se establecen los ríos, redes viales; las cuales según el tipo de vulnerabilidad se asigna la numeración indicada líneas arriba.
- Por otro lado, en el caso de los polígonos se asigna la numeración según el tipo de vulnerabilidad en la tabla de atributos de la capa SIG cada criterio identificado.

3.3.2.4. Elaboración del mapa de sensibilidad

Por último, se desarrolló el mapa de Sensibilidad, para lo cual previamente se establece una ponderación por cada grupo de características o atributos evaluados en el Mapa Estratégico, en función de su importancia e influencia en la viabilidad socioambiental que cada uno representaría frente al proyecto. Asimismo, en este último paso se incluyen los pesos relativos determinados en el paso del ítem 3.2.1.3.

La sensibilidad de cada característica o atributo se obtuvo del producto entre la vulnerabilidad y la ponderación relativa (pesos relativos) obtenida mediante el proceso de jerarquía analítica

El procedimiento final para generar el mapa se realizó a través del software R Studio con la instalación de paquetes y la creación de una codificación que incluye la multiplicación de los shapes previamente tratados con la escala de vulnerabilidad respectiva con los pesos relativos obtenidos en el proceso AHP.

Finalmente, para la elaboración del mapa de sensibilidad socioambiental se estableció una escala de 5 categorías de sensibilidad (Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta) en función del mayor valor resultante en la sumatoria de las intersecciones a lo largo del área de estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Procedimiento sin uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):

4.1.1. Declarando el objetivo

La declaración del objetivo se basa en identificar las áreas idóneas con menor impacto socioambiental para el diseño de la Línea de transmisión COYA que se establece en las regiones de Huancavelica, Junín y Lima.

4.1.2. Identificación de criterios

La selección de criterios para un análisis de decisión multicriterio se puede realizar de varias formas. Los factores pueden ser elegidos utilizando la literatura disponible, determinados por un analista o establecidos por un conjunto de expertos (López-Marrero *et al.*, 2011). En esta investigación, se usó la primera opción y se complementó con la experiencia de 4 años y medio en la gestión ambiental de Líneas de Transmisión de parte de la investigadora.

Esta etapa de la investigación comprendió la revisión bibliográfica que determinó los criterios de los componentes físicos, biológicos y socioculturales que se evaluaron en el desarrollo de la metodología. Para lo cual se revisó normativa nacional, internacional y diversas fuentes de información relacionada al análisis de alternativas en líneas de transmisión, siguiendo una revisión bibliográfica a profundidad como lo considerado por el estudio de Zabihi *et al.*, (2020).

También, es importante precisar que los criterios seleccionados para construir líneas de transmisión pueden cambiar con el tiempo, con actualizaciones en las políticas nacionales o de acuerdo con las leyes y regulaciones regionales/locales (Veronesi *et al.*, 2017).

La identificación de las áreas adecuadas para la elección de opciones ocurre durante la etapa de selección. Para ello, los criterios de selección son cruciales, pero estos criterios pueden ser arbitrarios y no incluir factores ambientales. En consecuencia, las alternativas más respetuosas con el medio ambiente pueden eliminarse antes de la fase de análisis de alternativas y no reconsiderarse (Steinemann, 2001). Por ello, por definición, estas técnicas

requieren varios criterios que deben ser considerados cuidadosamente para dar una solución al objetivo en cuestión (Veronesi *et al.*, 2017).

Por ello, es fundamental tener en cuenta las particularidades biofísicas y socioeconómicas de una región específica en donde se emplazará el proyecto para poder seleccionar y examinar de manera precisa diversos tipos de factores (Xin & Chan, 2014; Kim, Uysal, & Sirgy, 2013).

Adicionalmente, según el estudio de (Ekel, *et al.*, 2019) el criterio técnico-económico está relacionado con aspectos espaciales que pueden perjudicar la construcción de las líneas o que pueden implicar sobrecostos a los servicios de mantenimiento/operación, y el criterio socioambiental se relaciona con áreas que tienen algunas restricciones en el uso de la tierra debido a la ocupación por parte de comunidades especiales (por ejemplo, tierras indígenas) o por cualquier actividad que imponga limitaciones relacionadas con consideraciones de seguridad.

En ese sentido, se eligieron un total de 9 criterios distribuidos en los 3 componentes (físico, biológico y sociocultural), los cuales son el punto de partida para contribuir con el análisis de alternativas de la LT de COYA, los cuales se enlistan a continuación:

- a) Componente físico
 - Redes viales
 - Zona de cuerpos nivales
 - Cuerpos de aguas
- b) Componente biológico
 - Áreas Naturales Protegidas
 - Ecosistemas frágiles
 - Concesiones forestales
- c) Componente socioeconómico y cultural
 - Comunidades Nativas o Pueblos Indígenas
 - Comunidades Campesinas
 - Zonas arqueológicas

Esta elección de los componentes y sus respectivos criterios es respaldada por los siguientes estudios:

Según el mapeo de trabajos relacionados para determinar la idoneidad de líneas de transmisión de (Ekel, *et al.*, 2019) refiere que los criterios más comunes utilizados en lo que respecta al aspecto técnico se tienen distancia a carreteras y distancia a cuerpos de aguas, con un total de 6 estudios cada uno que los citan. Asimismo, en lo que respecta a criterios sociales y ambientales refieren a áreas de preservación ambiental y áreas de patrimonio cultural, con un total de 8 y 7 estudios citados, respectivamente.

Por otro lado, el estudio (Veronesi *et al.*, 2017) refiere que las características más importantes para el emplazamiento de líneas de transmisión corresponden a las rocas metamórficas, rocas magmáticas, nieve permanente y glaciares; de esto último, se encontró que las áreas bajo hielo permanente son importantes ya que es muy difícil construir nuevas infraestructuras en estos terrenos (Eroglu & Aydın, 2015).

Asimismo, en el estudio de Araneo, Celozzi, & Vergine (2015) se indica que las limitaciones importantes que intervienen sobre el emplazamiento de líneas de transmisión incluyen las cuestiones específicas relativas a la biodiversidad, la población, la salud humana, el suelo, el agua, el patrimonio cultural, el paisaje y las interrelaciones entre las limitaciones anteriores.

Según el Decreto Supremo N°014-2019-EM del Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas en Perú, los responsables de proyectos eléctricos deben evaluar diversas alternativas considerando aspectos sociales, ambientales y económicos. Esto incluye factores como los límites de áreas naturales protegidas, el riesgo de pérdida de ecosistemas y su funcionalidad, riesgos climáticos, vulnerabilidad física y el impacto en otras actividades económicas dentro del área afectada por el proyecto. Además, se enfoca en conservar la biodiversidad en el área de influencia del proyecto, dando prioridad a los ecosistemas frágiles.

La Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental establece en su artículo 5 los criterios de protección ambiental que deben regir los proyectos de inversión. Entre estos criterios se incluye la salvaguarda de los recursos naturales, la preservación de la calidad ambiental, la conservación de las áreas naturales protegidas, la protección de los ecosistemas y paisajes naturales, la defensa de los sistemas y modos de vida de las

comunidades locales, y la protección del patrimonio histórico, arqueológico, arquitectónico y monumentos nacionales, entre otros aspectos relevantes.

Recopilando todo lo mencionado, en la siguiente Tabla 3 se resumen los criterios identificados por componente ambiental con su respectiva descripción a considerar:

Tabla 3: Criterios identificados por componente ambiental

N°	Componente	Criterio	DESCRIPCIÓN
1	FISICA	Redes viales	Se considera la distancia de la LT a accesos carrozables existentes. La alternativa con más cercanía a accesos existentes presupone una menor afectación social, ambiental y económica.
2		Zona de cuerpos nivales	Se considera evitar diseñar la LT por zonas con nieve, debido a la dificultad técnica que presupone.
3		Cuerpos de agua	Se considera evitar diseñar la LT que puedan afectar las fajas marginales.
4	BIOLÓGICA	Áreas Naturales Protegidas	Se considera evitar diseñar la LT con algún tipo de intersección con áreas naturales protegidas de administración nacional, regional y privada; y sus zonas de amortiguamiento.
5		Ecosistemas frágiles	Se considera la menor afectación de la LT a ecosistemas frágiles, consideradas de importancia para la conservación de la biodiversidad.
6		Concesiones forestales	Se considera evitar diseñar la LT en concesiones forestales por la intersección con zonas donde se realiza la explotación de recursos naturales y que generan conflictos de uso.
7	SOCIOECONOMICO Y CULTURAL	Comunidades Nativas o Pueblos Indígenas	Se considera la menor afectación de la LT en la intervención en territorios de Comunidades Nativas o Pueblos Indígenas.
8		Comunidades Campesinas	Se considera la menor afectación de la LT en la intervención en territorio de Comunidades Campesinas
9		Zonas arqueológicas	Se evalúa evitar la afectación al patrimonio cultural, establecido específicamente en zonas arqueológicas

4.1.3. Asignación de pesos relativos a través del proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

La asignación de los pesos relativos de los criterios determinados en el paso anterior se realizó mediante el proceso de jerarquía analítica propuesta (AHP) por Saaty (2008) aplicando las comparaciones por pares a un grupo de expertos con la finalidad de obtener las diferentes prioridades a los criterios planteados.

Esto respaldado por (Moradi *et al.*, 2020) que indica en los procesos de toma de decisiones bidimensionales o tridimensionales, los sesgos influirán en la decisión sin que el tomador de decisiones sea consciente de ello; por lo que el proceso de jerarquía analítica ayuda a abordar

este problema. Construye el juicio de una manera que ayuda a reducir el sesgo de decisión: la conducción imparcial de AHP de la toma de decisiones es la razón principal para elegir ese método para esta investigación. Además, que (López-Marrero *et al.*, 2011) indica que estas matrices por pares proporcionan un medio para priorizar listas de elementos cuando es difícil lograr un consenso simple.

Se seleccionaron 12 participantes con experiencia en líneas de transmisión y conocimiento en diversos componentes ambientales (físicos, biológicos, socioculturales), siguiendo las recomendaciones de Gable & Wolf (1993), Grant & Davis (1997), y Lynn (1986), que sugieren un rango favorable de 2 a 20 entrevistados. Los participantes fueron elegidos por su disposición y motivación para participar. En el Anexo 3 se detalla el perfil de los expertos involucrados en la investigación.

Posterior, se realizaron las pruebas de consistencias con la ayuda de la plantilla proporcionada por la Plataforma Arcgeek (<https://arcgeek.com/>), que permitió evaluar la consistencia de cada juicio. Esta herramienta también proporciona el índice de coherencia (CR) que indica el nivel de coherencia de la matriz de comparación por pares. En algunos casos fue necesario replantear los valores indicados por los expertos para lograr la consistencia que indica la metodología, que significa que $CR < 0,10$. Por lo que, se aseguró que todas las matrices resulten con evaluación consistente con lo que podemos suponer que todos los juicios son lo suficientemente consistentes y con esto obtener los pesos relativos finales de los criterios considerados por cada componente (físico, biológico y sociocultural) para cada juicio de experto.

Seguidamente se obtuvo el promedio de valores relativos de todos los expertos para lograr valores relativos integrados, los cuales se presentan a continuación en la Tabla 4:

De esta tabla se desprende que según el resultado del proceso AHP, los expertos sugieren que el componente ambiental más importante que considerar para su mínima afectación es el de Zonas arqueológicas, seguido por Áreas Naturales protegidas y luego Comunidades Nativas o Pueblos Indígenas.

De otro lado, los criterios ambientales con menor pesos relativos fueron redes viales, zonas de cuerpos nivales y finalmente cuerpos de agua.

Asimismo, en cuanto a la comparación de pesos relativos relacionados a los componentes ambientales, se tiene que el componente ambiental más importante resultó ser el sociocultural seguido del biológico y finalmente del físico.

4.2. Procedimiento con uso del Sistema de Información Geográfico (SIG):

Para la segunda fase (análisis GIS), se utilizó el software QGIS 3.16 y varias capas GIS, las cuales representan cada uno de los criterios identificados en el procedimiento anterior, que se utilizarán en el análisis GIS. Para realizar el análisis, se aseguró que los datos de SIG adecuados estén disponibles.

4.2.1. Elaboración del Mapa base

El punto de partida es la definición del área de estudio (Araneo *et al.*, 2015; Marshall & Baxter, 2002).

Se delimitó el área de estudio considerando lo siguiente:

- El vector **a** igual al valor de 371.1 km, el cual se obtuvo de la suma de km del trazo de LT de COYA considerada preliminarmente por Proinversión.
- El vector **b** igual al valor de $0.6 * a$ que resulta en 222.7 km

Con la obtención del resultado del vector **b**, se consideró el buffer como longitud ortogonal dividido en 2, tal como se muestra en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5: Buffer del área de estudio

Longitud de la LT de proinversión (a)	371.1	km
Longitud ortogonal (b)	222.7	km
Buffer considerado (b/2)	111.3	km

La distancia del buffer se ingresó en el software Quantum GIS para establecer el área de estudio la cual comprende un total de 11,198,114 ha. A continuación, se muestra el resultado del mapa base en la Figura 7:

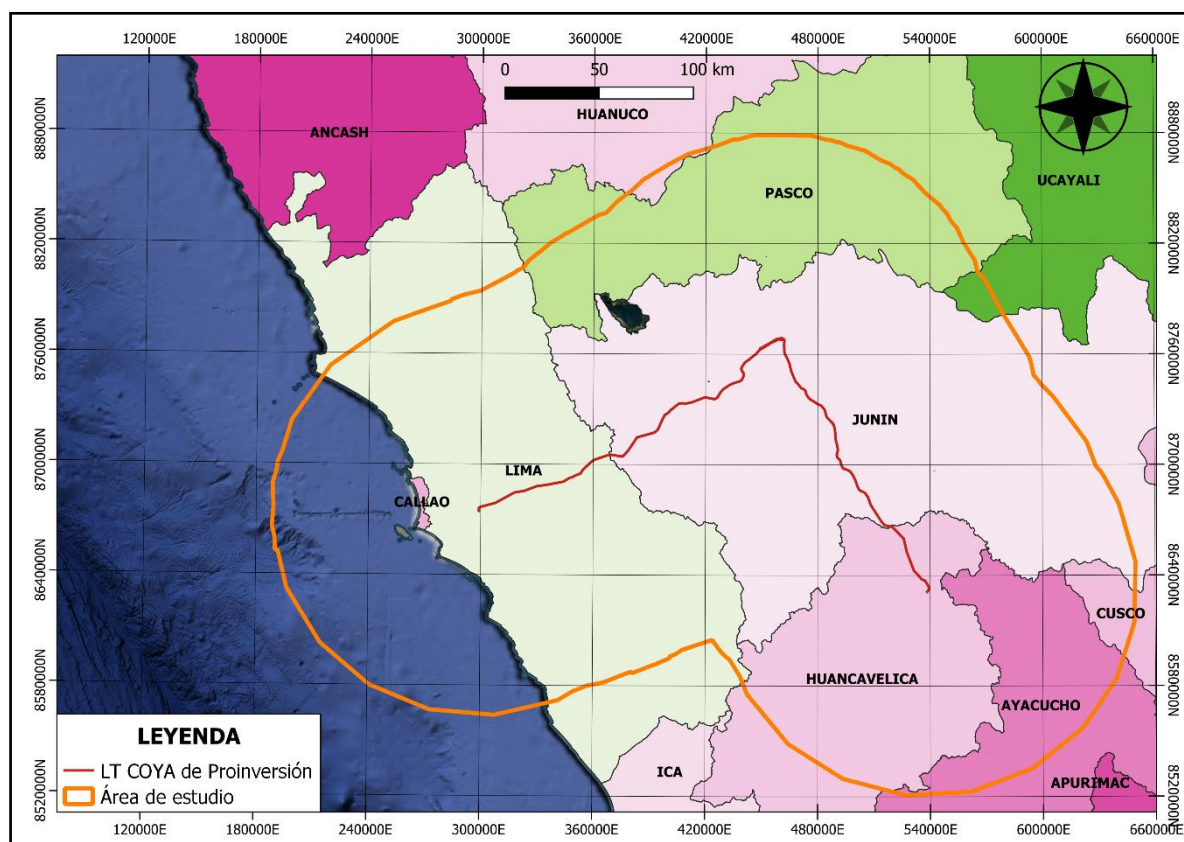


Figura 7. Mapa base

Según Araneo *et al.* (2015) indica que este método de definición de área de estudio permite abarcar una porción de territorio con una extensión suficiente para ubicar un corredor de bajo impacto, manteniendo, mientras tanto, la viabilidad técnica y el costo de la solución de conexión razonable y asequible. Este método considera que el área de estudio se define fijando los puntos de inicio y finalización de la nueva línea eléctrica a enrutar, que en la

presente investigación están representados por las subestaciones preestablecidas por Proinversión: SE Colcabamba (Huancavelica) y SE Carapongo (Lima).

4.2.2. Elaboración del Mapa táctico

En el mapa táctico se identifican, discriminan y codifican las áreas identificadas que representan algún tipo de vulnerabilidad respecto al proyecto, o que puedan afectar al mismo, por lo que corresponde a los criterios identificados en los pasos anteriores y diferenciados por cada componente (físico, biológico y sociocultural) con la finalidad de conocer el terreno.

De acuerdo con los criterios identificados para la presente investigación, se requirieron conseguir las capas de datos GIS en las diferentes instancias oficiales del Estado, los cuales se encuentran a libre descarga. En la Tabla 6 se presenta la fuente de información geográfica de donde se obtuvieron los shapfiles y el tipo de vector de cada uno:

Tabla 6: Consideraciones y fuentes de información de criterios propuestos

N°	COMPONENTE	CRITERIO	FUENTE DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	OBSERVACIÓN	TIPO DE VECTOR	ENLACE DE DESCARGA
1	FISICA	Redes viales	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)	Se consideró usar la red departamental	Lineas	https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html
2		Zona de cuerpos nivales	Ministerio del ambiente (MINAM)	Se consideró la información que tiene el MINAM en su base de datos como Glaciares	Polígonos	https://snirh.ana.gob.pe/ConsultaIDE/Index.aspx?ID=127
3		Cuerpos de agua	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Se consideró únicamente rios	Lineas	https://snirh.ana.gob.pe/ConsultaIDE/Index.aspx?ID=127
4	BIOLÓGICA	Áreas Naturales Protegidas	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP)	Se consideró usar áreas naturales protegidas (ANP), zonas de amortiguamiento (ZA), Áreas de Conservación Regional (ACR) y Áreas de Conservación Privada (ACP)	Polígonos	https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/
5		Ecosistemas frágiles	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)	Se consideraron los ecosistemas frágiles mapeados hasta el año 2022.	Polígonos	https://geo.serfor.gob.pe/visor/
6		Concesiones forestales	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)	Se consideraron los 3 tipos de concesiones forestales: Concesiones de ecoturismo, Concesiones de conservación y Concesiones de reforestación	Polígonos	https://geo.serfor.gob.pe/visor/
7	SOCIOECONOMICO Y CULTURAL	Comunidades Nativas o Pueblos Indígenas	Ministerio de Cultura (MINCUL) - Base de datos de Pueblos Indígenas (BDPI)	Se consideraron todos los polígonos de la base del BDPI	Polígonos	https://dev04.midagri.gob.pe/appVisor/# - https://bdpi.cultura.gob.pe/
8		Comunidades Campesinas	Ministerio de Desarrollo Agrario (MIDAGRI)	Se consideraron todos los polígonos de la base del MIDAGRI	Polígonos	https://dev04.midagri.gob.pe/appVisor/#
9		Zonas arqueológicas	Ministerio de Cultura (MINCUL) - Sistema de Información Geográfica de Arqueología (SIGDA)	Se consideró usar los poligonos únicamente; mas no, los Caminos Inca (Qapag Ñan)	Polígonos	http://sigda.cultura.gob.pe/

En ese sentido, se tiene en mapa táctico global con todos los criterios identificados superpuestos por capas, que se ve en la Figura 8:

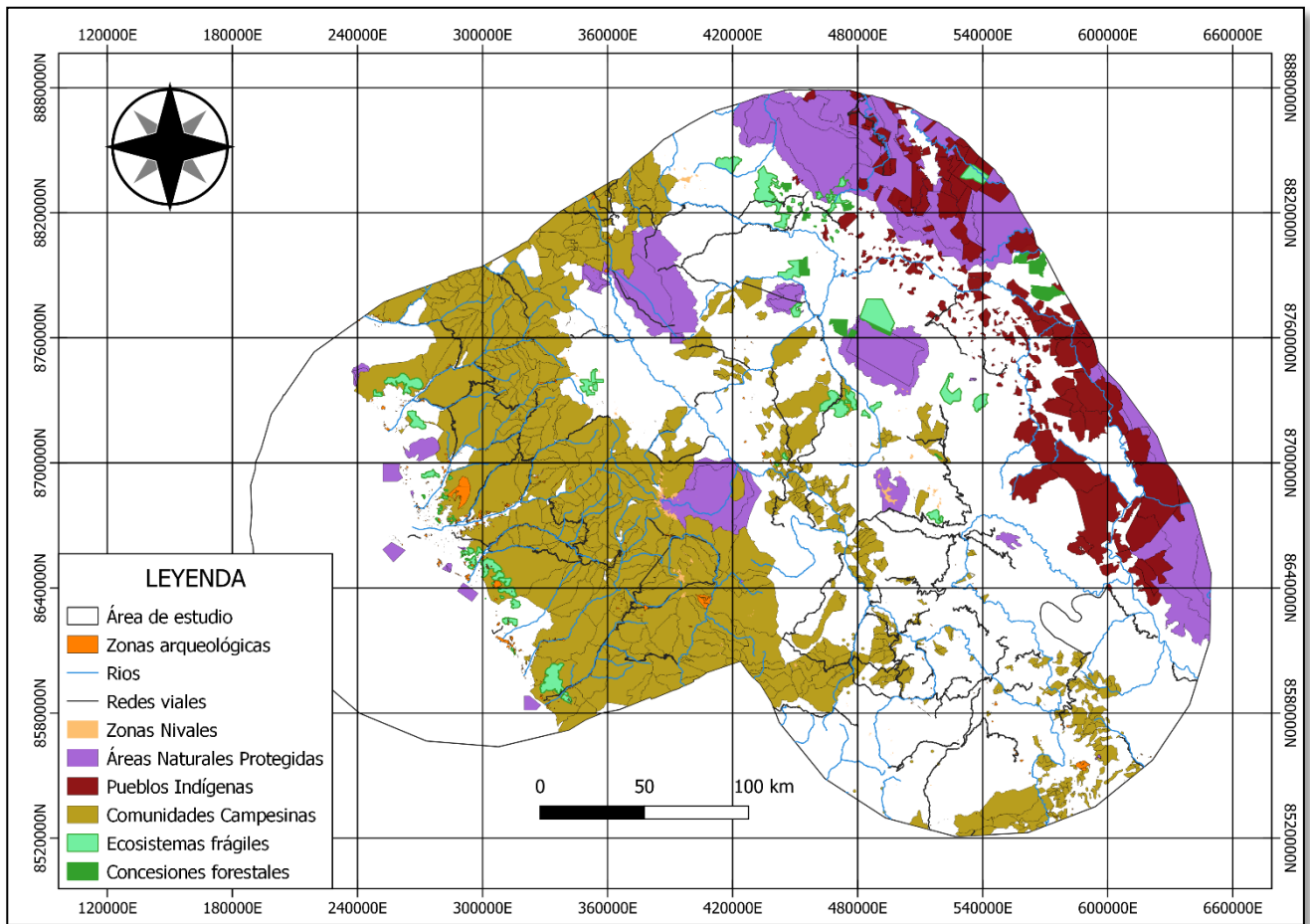


Figura 8. Mapa Táctico

También, es importante considerar que el mapa táctico puede diferenciarse por criterio y dar información independiente según el requerimiento del desarrollador del proyecto. Por ejemplo, cuando se desea verificar si el trazo de la línea de transmisión se superpone con alguna categoría de área natural protegida o zona arqueológica específica.

Según Marshall & Baxter (2002) el “área de estudio” se define primero, como se consideró en el anterior paso, y la información sobre las principales consideraciones ambientales dentro de ella se recopila y clasifica, que en esta investigación se establece en los criterios ambientales considerados clasificados en tres componentes (físico, biológico y sociocultural). El mismo estudio, considera que este método de categorizar la información está destinado a proporcionar una comprensión del entorno del área de estudio.

4.2.3. Elaboración del Mapa estratégico

El mapa Estratégico, según la Guía de IPIECA (2012) tiene como función sintetizar la información, ubicar y priorizar los sitios más vulnerables, reflejando el grado de esta en el entorno.

Se estableció una escala de colores para representar cada nivel de vulnerabilidad encontrado en cada criterio de cada componente (físico, biológico y sociocultural) a lo largo de toda el área de estudio y se procedió aplicar esto sobre cada área identificada.

Así, se establece una ponderación por cada criterio evaluados, en función de su importancia e influencia en la viabilidad socioambiental que cada uno representaría frente al proyecto, que se ve representado por el valor de vulnerabilidad (1: muy vulnerable, 3: medianamente vulnerable y 5: poco vulnerable).

A continuación, se presenta la asignación de puntaje según el tipo y vulnerabilidad en la Tabla 7:

Tabla 7: Tipo y puntuación de los criterios de acuerdo con su vulnerabilidad

N°	COMPONENTE	CRITERIO	TIPO	PUNTUACIÓN
1	FISICA	Redes viales	Criticidad	0-100 m = 1 100-500 = 3
2		Zona de cuerpos nivales	Restricción	Poligonos = 5
3		Cuerpos de agua	Criticidad	0 - 25 m = 5 25 - 100 m = 3
4	BIOLÓGICA	Áreas Naturales Protegidas	Restricción	Poligonos = 5
5		Ecosistemas frágiles	Restricción	Poligonos = 3
6		Concesiones forestales	Restricción	Poligonos = 5
7	SOCIOECONOMICO Y CULTURAL	Comunidades Nativas o Pueblos Indígenas	Criticidad	Poligonos = 3
8		Comunidades Campesinas		Poligonos = 1
9		Zonas arqueológicas	Restricción	Poligonos = 5

El mapa estratégico total se presenta en la Figura 9:

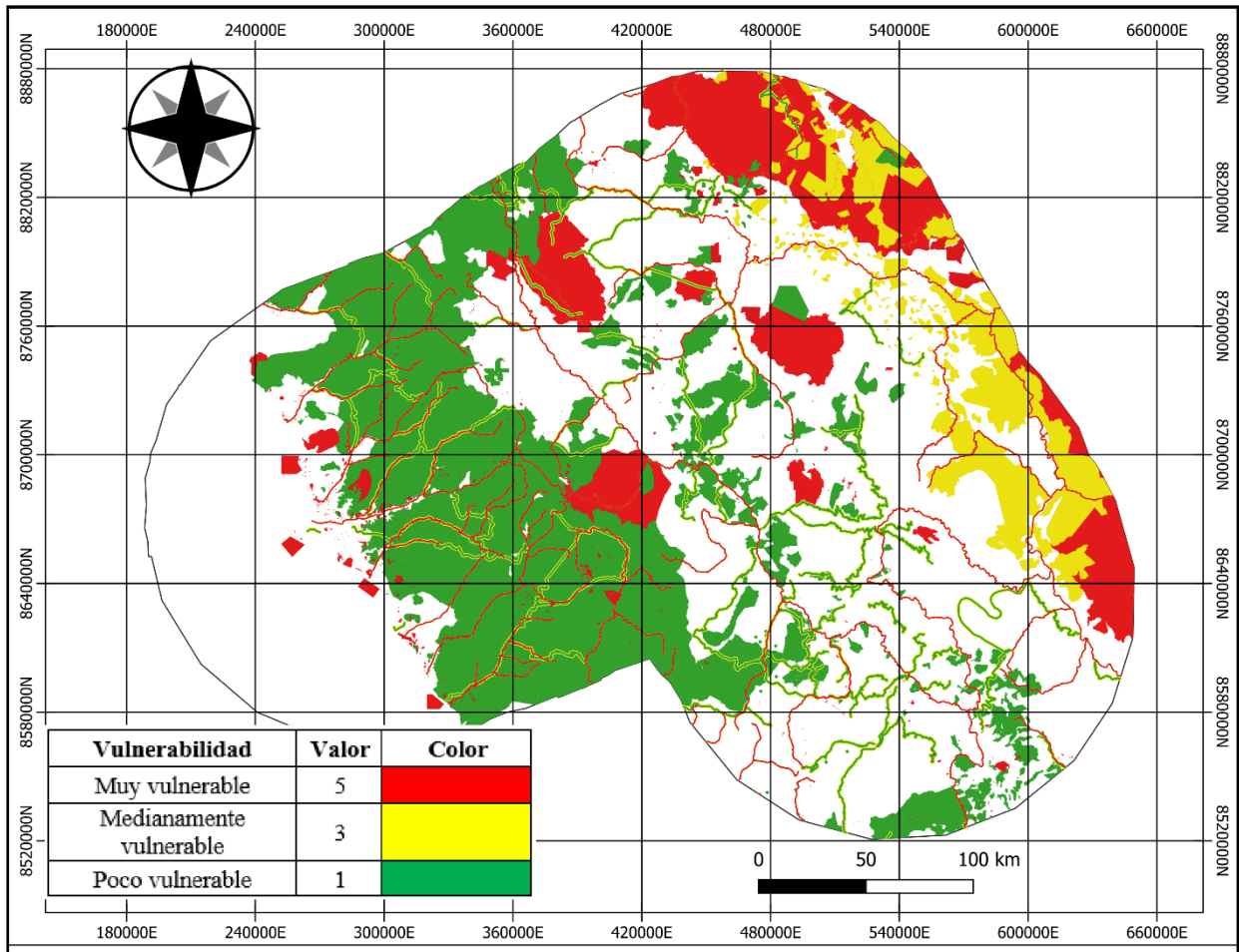


Figura 9, Mapa estratégico

Sin perjuicio de lo anterior, el mapa estratégico puede diferenciarse por criterio y dar información independiente según el requerimiento del desarrollador del proyecto con la finalidad de evaluar independientemente la vulnerabilidad que refleja cada criterio.

Para la construcción del mapa estratégico, se consideró lo expuesto por (López-Marrero *et al.*, 2011) indican que los criterios suelen ser evaluados y visualizados geográficamente en una escala continua, como la distancia a los ríos, aunque también pueden ser categorizados, como el tipo de cobertura del suelo. Además, señalan la presencia de dos tipos de criterios en el análisis: restricciones y factores:

Las **restricciones** son criterios que deben considerarse como excluyentes de las áreas del análisis. Es decir, aquellas áreas que tienen limitaciones para el paso de las LT, que en este caso se encuentran representados por el valor 5 (muy vulnerable):

- a) Zona de cuerpos nivales: se establece como restricción debido a que técnicamente es difícil construir las líneas de transmisión en estas zonas, esto de acuerdo con (Eroglu & Aydin, 2015), quienes encontraron que las áreas bajo hielo permanente son muy importantes ya que es muy difícil construir nuevas infraestructuras en estos terrenos. Asimismo, (Veronesi *et al.*, 2017) indica que dentro de los factores más importantes para el emplazamiento de las líneas de transmisión se consideran las zonas de hielo.
- b) Cuerpo de agua de distancia de 0 - 25 m: se establece como restricción debido a que según la normativa peruana se requiere evitar la afectación de la faja marginal de cuerpos de agua cercanos a las alternativas de LT en consideración a lo establecido en el Resolución Jefatural N°332-2016-ANA “Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales” que indica que la faja marginal corresponde a una zona intangible, y el ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua considerado es de 25m (ANA, 2016).
- c) Áreas Naturales Protegidas y Concesiones forestales: se establece como restricción en este caso por tener ambas una figura legal peruana respecto a conservación y aprovechamiento sostenible:
- Áreas Naturales Protegidas. “Las Áreas Naturales Protegidas son los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional, expresamente reconocidos y declarados como tales, incluyendo sus categorías y zonificaciones, para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país. Las Áreas Naturales Protegidas constituyen patrimonio de la Nación. Su condición natural debe ser mantenida a perpetuidad pudiendo permitirse el uso regulado del área y el aprovechamiento de recursos, o determinarse la restricción de los usos directos” (Congreso de La República, 1997).
 - Concesión forestal. “Título habilitante por el cual el Estado otorga el derecho a particulares para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y de fauna silvestre, y derecho de uso y disfrute de dichos recursos naturales” (SERFOR, 2017).

Esto va acorde con (López-Marrero *et al.*, 2011) según ellos, las limitaciones se refieren a áreas que ya están bajo la cobertura de áreas con un estado o designación formal de conservación, como reservas naturales y bosques estatales.

Adicionalmente, los proyectos eléctricos evitan generalmente la superposición con áreas naturales protegidas (ANP), sus zonas de amortiguamiento (ZA) y Áreas de Conservación Regional (ACR), ya que se requiere realizar el procedimiento de compatibilidad virtual, que es un trámite engorroso y que no garantiza que el proyecto pueda ser compatible con los lineamientos del área protegida.

- d) Zonas arqueológicas: El Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas exige que los proyectos eléctricos obtengan un Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA). Este documento, emitido por el Instituto Nacional de Cultura, confirma oficialmente si un terreno posee vestigios arqueológicos.

En general, el CIRA se solicita para realizar actividades como minería, energía, construcción de vías, instalación de plantas de producción, obras hidráulicas o desarrollo agrícola en un terreno determinado. Por lo tanto, los proyectos persé evitan la afectación de zonas arqueológicas.

Del otro lado, los **factores** son criterios que influyen (mejoran o restan) la viabilidad del objetivo en consideración. Por ello, tienen puntuaciones según el nivel de vulnerabilidad del 1: poco vulnerable, 3: medianamente vulnerable. Los cuales se detallan a continuación:

- e) Redes viales: en este caso se considera la distancia a accesos carrozables existentes, considerando las redes departamentales emitidas por MTC. Esto con la finalidad de considerar minimizar la fragmentación del hábitat, las líneas eléctricas deben construirse a poca distancia de los corredores de infraestructura lineal existentes tal como indica (Bagli, Geneletti, & Orsi, 2011). También, (Monteiro, y otros, 2005) indica que las líneas de transmisión a menudo se construyen a lo largo de las carreteras para concentrar el impacto de las carreteras y las líneas eléctricas en las mismas áreas geográficas.

Se consideraron amortiguadores (buffers) para este propósito distancia de 0 - 100 m con una criticidad de 1, es decir poco vulnerable, ya que está más cercano a las LT, y la distancia de 100 - 500 con una criticidad mayor (3) ya que se encuentra más alejado.

- f) Ecosistemas frágiles: son áreas que poseen ciertas características o recursos singulares con baja capacidad de retornar a sus condiciones originales e inestable ante eventos impactantes causados por actividades humanas o la naturaleza, que producen en el mismo una profunda alteración en su estructura y composición (MINAGRI, 2015).

Por lo tanto, en este caso se consideró estas áreas con criticidad de 3, es decir mediamente vulnerable ya que no se considera restrictivo; sin embargo, se recomienda velar por su baja afectación.

- g) Comunidades: se tienen dos tipos de categoría, los Pueblos Indígenas u originarios y las Comunidades Campesinas, las cuales se diferenciaron con respecto a su tipo de vulnerabilidad ya que se consideran más vulnerables las Comunidades Nativas frente a las Comunidades Campesinas; sin haber algún tipo de restricción el paso de líneas de transmisión en sus territorios.

Esta afirmación se respalda desde la definición de cada uno. Según la Base de Datos de Pueblos Indígenas u Originarios (MINCUL, 2022) indica que “los pueblos indígenas u originarios son aquellos colectivos que tienen su origen en tiempos anteriores al Estado que conservan todas o parte de sus instituciones distintivas, y que, además, presentan la conciencia colectiva de poseer una identidad indígena u originaria”. Mientras que “las Comunidades Campesinas son organizaciones de interés público, con existencia legal y personería jurídica integradas por familias que habitan y controlan determinados territorios, ligadas por vínculos ancestrales, sociales, económicos y culturales, expresados en la propiedad comunal de la tierra, el trabajo comunal, la ayuda mutua, el gobierno democrático y el desarrollo de actividades multisectoriales, cuyos fines se orientan a la realización plena de sus miembros y del país” (MINCUL, 1987).

Además, Zambrano (2021) indica que es importante y necesario reconocer que nos encontramos con comunidades indígenas que, a lo largo de la historia, han enfrentado desigualdades que necesitan ser superadas, ya que estas desigualdades las hacen más vulnerables.

4.2.4. Elaboración del Mapa de sensibilidad

Finalmente, se desarrolló el mapa de Sensibilidad, para lo cual previamente se estableció una ponderación por cada grupo de características o atributos evaluados en el Mapa Estratégico, en función de su importancia e influencia en la viabilidad socioambiental que cada uno representaría frente al proyecto. Asimismo, en este último paso se incluyen los pesos relativos determinados en el proceso AHP en apoyo de los expertos en líneas de transmisión.

La sensibilidad de cada característica o atributo se obtuvo del producto entre los pesos relativos obtenidos mediante el proceso AHP y la vulnerabilidad establecida en el mapa estratégico.

Para generar este paso se persiguió la recomendación de Salas (2002), quien indica que la sensibilidad ambiental se obtiene de la integración de la importancia ecológica de los componentes evaluados, los cuales se obtuvieron por el proceso AHP mencionado anteriormente, multiplicado con su vulnerabilidad frente a efectos ambientales de actividades de intervenciones antrópicas, obtenido del mapa estratégico.

Para hacer este proceso, inicialmente se superpusieron mapas rasterizados de cada criterio con el valor de vulnerabilidad establecido en el mapa estratégico y se realizó el cálculo de la multiplicación con la herramienta **Calculadora Raster** del Software QGIS con los pesos relativos correspondientes. Sin embargo, por la cantidad de datos geográficos, el Software no logró obtener un resultado. Por lo que, se decidió optar por el software R Studio debido a su facilidad de manejo, en el cual se realizó la multiplicación y generó el mapa de sensibilidad socioambiental requerido, y se importó en raster y vectorial para realizar el post procesamiento en el Software QGIS.

RStudio es conocido por su capacidad para manejar grandes conjuntos de datos de manera eficiente. Gracias a la amplia gama de paquetes y bibliotecas geoespaciales disponibles en R, los usuarios pueden trabajar con datos masivos sin problemas, además los usuarios pueden escribir su propio código o utilizar paquetes específicos para adaptar el software a sus necesidades. Esto es esencial cuando se trata de información geográfica que a menudo involucra una gran cantidad de puntos, líneas y polígonos (Fernández Lizana, 2020). En contraste, ArcGIS, QGIS pueden ralentizarse al procesar conjuntos de datos muy grandes; que es lo que sucedió en la presente investigación, que el software QGIS logró ejecutar desde el mapa base, mapa táctico y mapa estratégico; sin embargo, no logró procesar el mapa de sensibilidad que contemplaba una gran cantidad de información geográfica y aritmética de mapas, por lo que se prefirió trabajar con RStudio por las ventajas consideradas líneas arriba. A pesar de contar con una memoria RAM de 8 gigabytes adecuada para ejecutar software de manejo de datos, como es el caso de la laptop usada en la presente investigación, se observó que el software QGIS experimentaba dificultades al procesar grandes volúmenes de datos geoespaciales ya que es a nivel regional. En contraste, RStudio demostró un mejor rendimiento en estas condiciones.

Sin perjuicio a lo anterior, (López-Marrero *et al.*, 2011) sugiere que se pueden llevar a cabo técnicas de evaluación multicriterio similares dentro de un entorno SIG utilizando otros paquetes de software SIG, como, por ejemplo, el procedimiento final para generar el mapa es se puede usar el software Idrisi GIS para realizar el análisis y producir el mapa. También, el software SIG ILWIS (Herramienta de evaluación de criterios múltiples espaciales) y ArcGIS (Análisis de superposición ponderada, Modelo LUCIS) tienen aplicaciones similares. La metodología descrita en esta investigación también podría adaptarse para ser utilizado en otros paquetes de SIG o en generación de un script desde la etapa inicial hasta la generación del mapa de sensibilidad socioambiental en RStudio.

Finalmente, para la elaboración del mapa de sensibilidad socioambiental se estableció una escala de 5 categorías de sensibilidad (Muy Baja de 0 a 25, Baja de 25 a 50, Media de 50 a 75, Alta de 75 a 100 y Muy Alta de 100 a 125).

El mapa de sensibilidad socioambiental se presenta a continuación en la Figura 10:

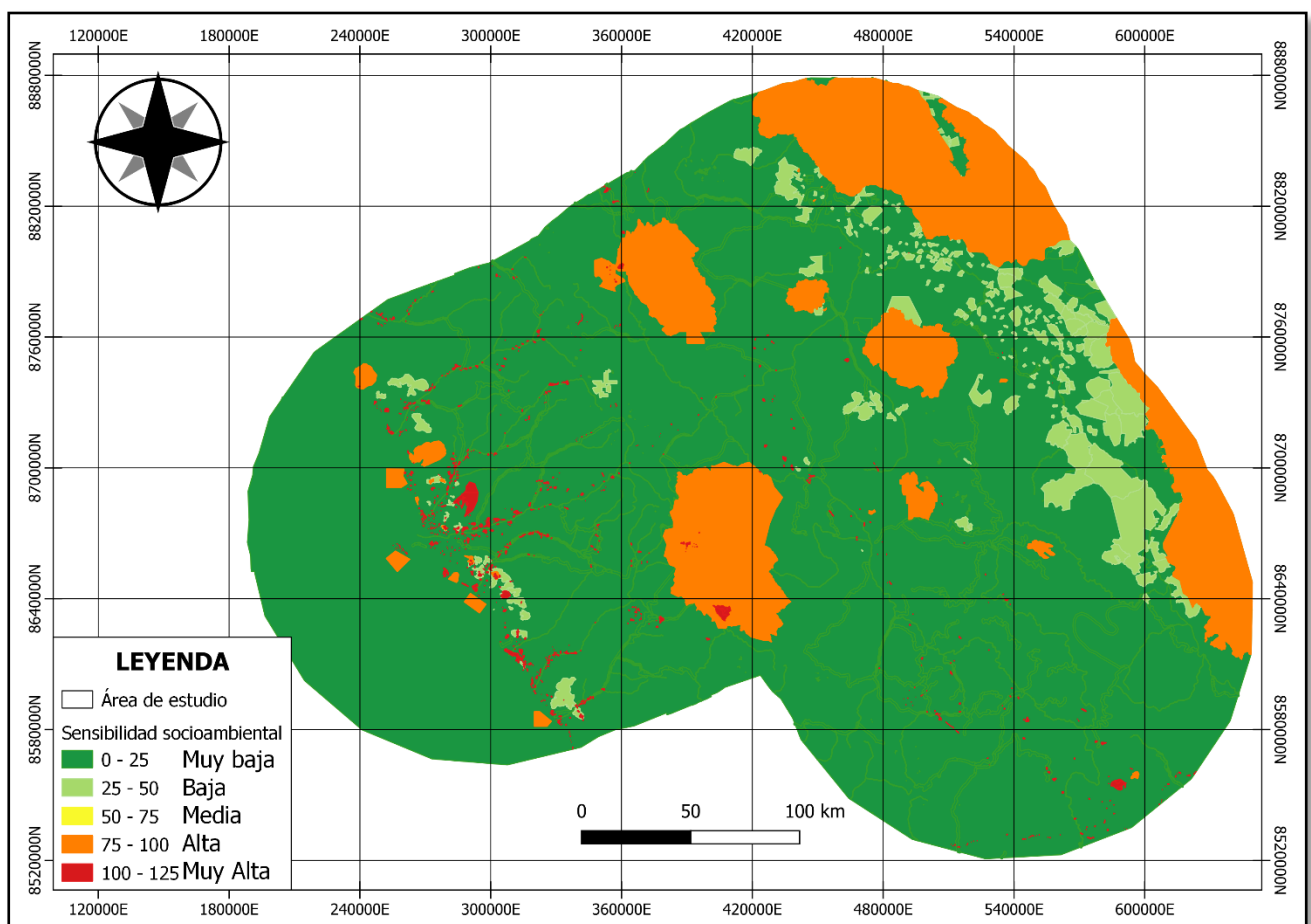


Figura 10. Mapa de sensibilidad socioambiental

Las áreas con mayor sensibilidad socioambiental, identificadas en el mapa, deberían evitarse durante el diseño de la Línea de Transmisión para prevenir impactos negativos. En cambio, para estas zonas, se recomienda implementar las medidas de manejo ambiental propuestas en el estudio ambiental, como planes de reforestación o compensación ambiental, entre otras.

Esto se soporta con lo indicado por (Marshall & Baxter, 2002) que los principios generales de ruta se aplican al área de estudio para establecer una serie de opciones de ruta posibles, lo que implica evitar, siempre que sea posible, áreas designadas de alto servicio o valor de conservación de la naturaleza.

Este mapa de sensibilidad socioambiental resultante de la evaluación multicriterio Proceso de jerarquía analítica (AHP) y los análisis de SIG proporciona información geográfica que pueden manejar los responsables de la toma de decisiones, quienes deben tomar muchas decisiones sobre el uso de la tierra para obtener áreas de menor sensibilidad para establecer una ruta óptima de Línea de Transmisión.

Según López-Marrero *et al.* (2011) este tipo de análisis tiene la ventaja de generar un mapa con datos geográficos continuos. Esto significa que la información no se limita a un simple "sí" o "no", sino que refleja una escala de importancia relativa. Esto permite a los usuarios evaluar los datos geográficos de manera más precisa y tomar decisiones más informadas, basándose en un rango de valores que se muestran en el mapa.

Este mapa también se puede utilizar como línea de base para identificar, planificar e implementar usos potenciales de la tierra, es decir el establecimiento de componentes adicionales de la Línea de transmisión; por ejemplo, depósitos de material excedente, almacenes, campamentos, etc.

Sin embargo, debemos considerar que este tipo de mapas no debe usarse como una herramienta independiente para la toma de decisiones. En cambio, se recomienda utilizar este mapa apoyado de los otros tipos de mapas resultantes en la presente investigación: mapa táctico y mapa estratégico para apoyar en el proceso de toma de decisiones con respecto al objetivo planteado.

Asimismo, el mapa de sensibilidad socioambiental se traslapó con el trazo real del Proyecto COYA obtenido del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto en la plataforma Informática EVA del SENACE en Consulta Ciudadana (SENACE, 2022). Con el fin de

comprobar la hipótesis de que la metodología planteada permite reducir el impacto socioambiental.

Esto, considerando que el Estudio de Impacto Ambiental detallado (EIA) del Proyecto COYA que se encuentra aprobado mediante Resolución Directoral 00122-2020-SENACE-PE/DEIN por el SENACE, significa que la ruta final planteada en el estudio cumple con la menor afectación a los componentes ambientales. Como lo indica (Cain, 2013) que la evaluación de impacto ambiental implica analizar los posibles impactos ambientales de un proyecto de manera multidisciplinaria, presentar la información al público y a los tomadores de decisiones, y tener en cuenta los comentarios del público y de las partes interesadas en la decisión final.

Además, un estudio ambiental describe las medidas de mitigación a seguir durante la construcción y operación de la línea. Estas medidas de mitigación incluyen, pero no se limitan a posibles efectos biológicos, botánicos, culturales, antropológicos y paleontológicos del proyecto (Castro, 1995).

A continuación, se presenta el Mapa del trazo real aprobado en el EIA del Proyecto COYA versus el mapa de sensibilidad ambiental en la Figura 11:

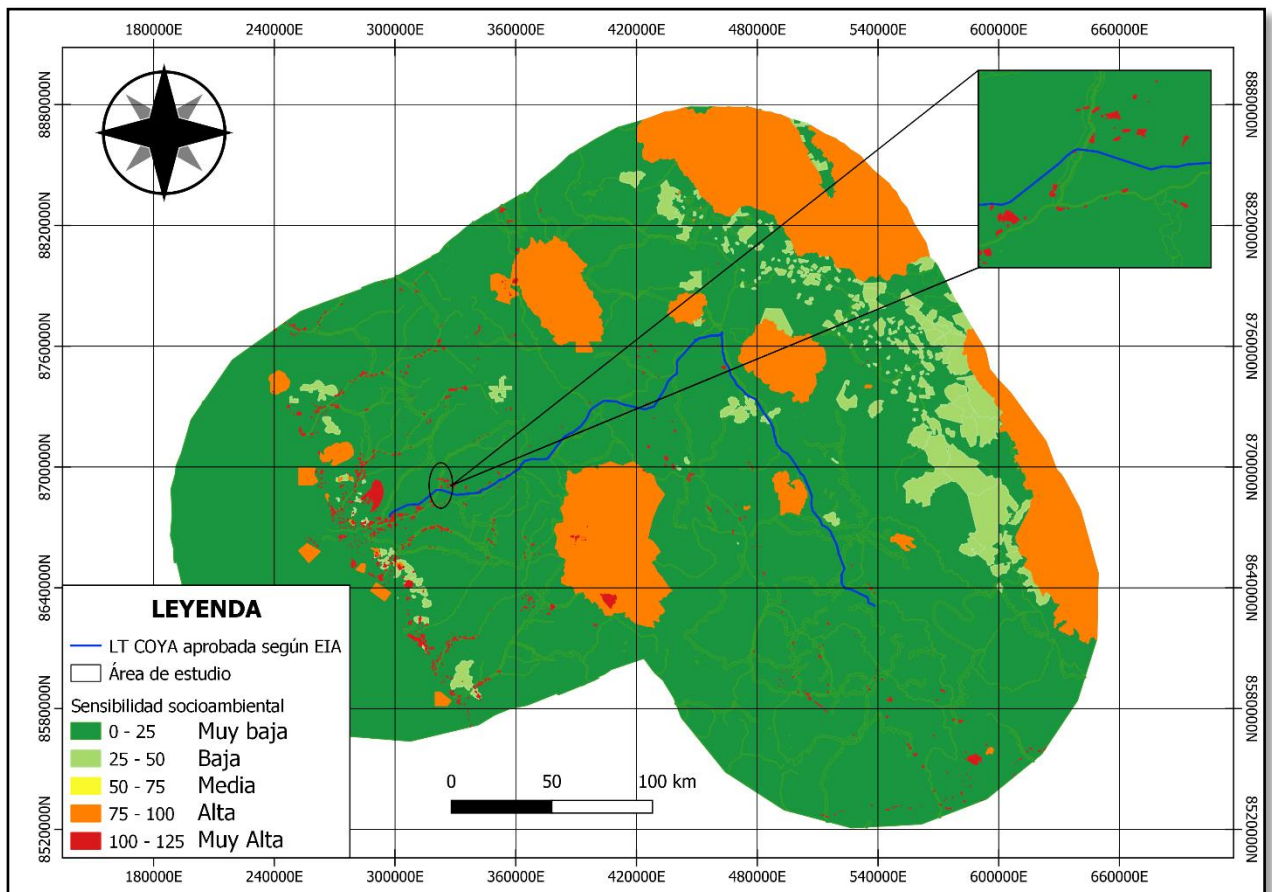


Figura 11. Mapa de sensibilidad socioambiental traspalado con el trazo aprobado por el EIA de la LT COYA

Con esto se observa que la Línea de Transmisión del Proyecto COYA aprobada para construcción recae en las áreas con muy baja y baja sensibilidad ambiental, lo que comprueba que la metodología planteada que comprende el proceso de jerarquía analítica y sensibilidad socioambiental optimiza la toma de decisiones minimizando los impactos ambientales y sociales durante la etapa de planificación del proyecto lo que permite reducir tiempo, ya que se establece en una etapa anterior al estudio ambiental, donde generalmente se realiza el análisis de alternativas; y a su vez puede reducir recursos económicos.

Esto último, se soporta en lo indicado por (Ekel, *et al.*, 2019) que la preparación de propuestas para proyectos de transmisión eléctrica es un proceso crítico que consume tiempo y recursos significativos, lo que puede llevar a un bajo rendimiento empresarial. Para abordar esto, se requiere desarrollar metodologías que aprovechen información cuantitativa y cualitativa con diversos indicadores que caracterizan las áreas geográficas en que se instalarán, así como información derivada del conocimiento, experiencia e intuición de los expertos, previa a la publicación de licitaciones, permitiendo una evaluación eficiente y efectiva de proyectos de transmisión eléctrica en fase de prospección, mejorando así el desempeño del sector.

También, los autores (Shafiullah *et al.*, 2016) refieren que el modelado de la dimensión geográfica de una red de sistema eléctrico juega un papel muy importante durante la etapa de planificación y la gestión oportuna del sistema eléctrico.

Además, según (Castro, 1995) indica que los servicios de licencias ambientales se vuelven necesarios una vez determinada la ruta; para lo cual se realiza un estudio intensivo de cada sección del corredor de transmisión y los ingenieros de diseño utilizan esta información de levantamiento para generar un plano y un dibujo de perfil de la sección que detalla la ubicación de las torres, tramos, áreas restringidas, rutas de acceso y otra información de levantamiento pertinente. Por lo que, es necesario establecer durante la planificación una ruta cuidadosa para evitar cambios significativos en el diseño de la ruta que repercuta en el futuro en sobreesfuerzos de tiempo y recursos (Marshall & Baxter, 2002).

Esto se complementa con que en el proceso de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) destaca la importancia del desarrollo de alternativas como el primer paso. Sin embargo, este proceso adolece de falta de ejercicio, ya que los profesionales tienden a

analizar las alternativas existentes en lugar de crear nuevas. Esto sucede con frecuencia porque se ven limitados a un conjunto reducido de opciones, resultado de decisiones anteriores que no tuvieron en cuenta los impactos ambientales. Como resultado, los EIA largas y costosas pueden no revelar las compensaciones cruciales ni explorar enfoques más racionales desde una perspectiva ambiental. Además, las alternativas pueden ser manipuladas para hacer que la acción propuesta parezca mejor, lo que disminuye la capacidad de la EIA para evaluar adecuadamente las compensaciones entre las alternativas genuinas (Steinemann, 2001).

Se debe enfatizar que el análisis y el mapa resultante presentados en esta investigación tenía como único objetivo identificar las áreas idóneas con menor impacto socioambiental para el diseño de la Línea de transmisión COYA que se establece en las regiones de Huancavelica, Junín y Lima. Sin embargo, se considera que esta metodología puede ser usada para otros proyectos de Líneas de Transmisión u otros tipos de proyectos de inversión considerando los procedimientos presentados en esta investigación, iniciando con la identificación de criterios que establezcan de manera específica para el proyecto consultado.

Finalmente, el análisis de decisión multicriterio (MCDA), precisamente el Proceso de jerarquía analítica, con la integración del análisis SIG proporciona una solución única y útil a los problemas asociados con el análisis de problemas de decisión espacial tal como lo indica (Chandío *et al.*, 2012).

V. CONCLUSIONES

Esta investigación se centró en desarrollar procedimientos de toma de decisiones en conjunto con el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) para mejorar la eficiencia y eficacia en la preparación avanzada de proyectos de transmisión eléctrica en la etapa de planificación, específicamente para determinar la ruta óptima aplicando el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y sensibilidad socioambiental en el proyecto de transmisión eléctrica COYA.

La aplicación de este enfoque metodológico consideró en principio el análisis y propuesta de 9 criterios físicos (redes viales, zona de cuerpos nivales y cuerpos de agua), biológicos (áreas naturales protegidas, ecosistemas frágiles y concesiones forestales) y socioculturales (Pueblos Indígenas, Comunidades Campesinas y Zonas arqueológicas), factores que permiten reflejar la mejor alternativa para el emplazamiento de la línea de transmisión.

Asimismo, se aplicó el Proceso AHP mediante el método de comparación de pares aplicado a 12 expertos del sector con el fin de analizar la importancia de estos criterios ambientales orientado a identificar las áreas idóneas con menor impacto socioambiental para el diseño de la Línea de transmisión COYA. De este proceso se desprende que los expertos sugieren que el componente ambiental más importante que considerar para su mínima afectación es el de Zonas arqueológicas, seguido por Áreas Naturales protegidas y Pueblos Indígenas.

Finalmente, los valores relativos obtenidos en el Proceso AHP fueron integrados con las herramientas de la SIG para lograr la sensibilidad socioambiental que ha sido fundamental para la identificación de áreas de muy baja, baja y media sensibilidad socioambiental para obtener la ruta con el menor impacto socioambiental del proyecto de línea de transmisión COYA.

Este enfoque ha permitido, además, la generación de mapas (táctico, estratégico y sensibilidad) que sirven de herramientas de soporte para la toma de decisiones en la gestión del proyecto y pueden ser usados de manera independiente de acuerdo con los requerimientos del desarrollador. En resumen, el estudio proporciona un enfoque

metodológico que puede ser aplicado en proyectos que involucran zonas sensibles ambientales, generando la minimización del impacto en estas áreas y proporcionando mapas útiles para diversos propósitos en la toma de decisiones.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere utilizar el software QGIS y RStudio en combinación para agilizar el procesamiento de la metodología; sin embargo, se pueden usar también software GIS como Idrisi GIS, o considerar otros paquetes de software SIG, como ILWIS y ArcGIS, que también pueden realizar evaluaciones multicriterio similares.
- Se recomienda emplear la información geográfica más actualizada disponible para desarrollar los diferentes mapas. Por lo que se hace un llamado a las instituciones nacionales encargadas de proporcionar información geográfica a través del acceso público que mantengan sus bases de datos actualizadas.
- Tener en cuenta que métodos como AHP y otros métodos de toma de decisiones multicriterio dependen de la clasificación inicial de criterios proporcionada por los tomadores de decisiones; por lo que, se debe ser cuidadosos en el establecimiento de criterios específicos para el tipo de proyecto a evaluar.
- Se recomienda el uso del mapa resultante de sensibilidad socioambiental en combinación con los otros tipos de mapas generados en la investigación como el mapa táctico y el mapa estratégico, para potenciar el proceso de toma de decisiones en relación con el objetivo establecido.
- Se recomienda extender la aplicación de la metodología desarrollada en esta tesis más allá de proyectos de transmisión eléctrica, sugiriendo su utilización en diversos proyectos de inversión, ya que busca reducir el riesgo de afectación socioambiental al evaluar criterios físicos, biológicos, y socioeconómicos en etapas tempranas del proceso de planificación. La versatilidad de los mapas generados proporciona herramientas valiosas para la toma de decisiones y la gestión proactiva de impactos socioambientales en diferentes contextos de desarrollo. En última instancia, esta recomendación busca fomentar la adopción de la metodología desarrollada, promoviendo prácticas más sostenibles y socialmente responsables en la gestión de proyectos de inversión.

- Se recomienda incorporar criterios ambientales específicos que aborden tanto la vulnerabilidad física ante riesgos asociados a eventos extremos meteorológicos; así como, la variabilidad estacional, en el contexto de los efectos del cambio climático.
- Considerar la capacidad de adaptación y resiliencia del proyecto frente a fenómenos meteorológicos extremos, junto con la atención a la estacionalidad, fortalecerá la identificación y gestión de posibles impactos socioambientales en diferentes períodos de tiempo, mejorando así la sostenibilidad del proyecto ante los desafíos derivados del cambio climático.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, L., Naim, N., & Wahab, A. (2011). Determination of weight for landfill-siting criteria under conflicting bifuzzy preference relation. *J Sustain Sci Manag*, 6:139–147.
- AENOR. (2008). *Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental (Exposición NORMA UNE 150008 – 2008)*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- AIRO. (2014). Development of wind strategy baseilne maps for kildare country council. *All Ireland Reserch Observatory*.
- Al-Ramadan, B. (2002). *Introduction to GIS technology and its applications*. Al-Mo-handis.
- Al-Ramadan, B. (2009). GIS adoption in Saudi Arabia: obstacles and challenges. *In: Proceedings of the PetroGIS conference*.
- ANA. (2016). Resolución Jefatural N°332-2016-ANA “Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales. Lima, Perú.
- Araneo, R., Celozzi, S., & Vergine, C. (2015). Ecosustainable routing of power lines for the connection of renewable energy plants to the Italian high-voltage grid. *International Journal of and Environmental Engineering*, 9–19.
- Araneo, R., Martirano, L., Celozzi, S., & Vergine, C. (2014). Low-Environmental Impact Routeing of Overhead Power Lines for the Connection of Renewable Energy Plants to the Italian HV Grid. Rome, Italy.
- Arica, D., Morales, C., & Rivera, R. (2020). Estudio de Sensibilidad Socioambiental en la Selección de alternativas para proyectos de líneas de transmisión eléctrica. *Revistaenergía.pe*, 55-59.
- Bagli, S., Geneletti, D., & Orsi, F. (2011). Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, 234–239.

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Guía de buenas prácticas para líneas de transmisión y de distribución de energía eléctrica para habitats naturales críticos*
- Battaglini, A., & Batjer, S. (2015). Reducing the environmental impacts of power transmission lines. En *Eco-friendly Innovations in Electricity Transmission and Distribution Networks* (págs. 183-198). Berlin.
- Belton, V., & Theodor S. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. United Kingdom: Kluwer Academic Publishers.
- Biasotto, L., & Kindel, A. (2018). Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review*, 110-119.
- Bogner, A., Littig, B., & Menz, W. (2009). Interviewing experts. *Palgrave Macmillan UK*, 1–13 .
- Borlase, S. (2012). *Smart grids: infrastructure, technology, and solutions*. Boca Raton: CRC press.
- Cain, N. L. (2013). What drives opposition to high-voltage transmission lines? *Land use policy*, 204-213.
- Caniani, D., Labella, A., Lioi, D. S., Mancini, I. M., & Masi, S. (2016). Habitat ecological integrity and environmental impact assessment of anthropic activities: A GIS-based fuzzy logic model for sites of high biodiversity conservation interest. *Ecological Indicators*, 238-249.
- Carrión, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodríguez, M., & Ridao, A. R. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2358-2380.
- Castro, R. (1995). Overview of the transmission line design process. *Electric Power Systems Research*, 109-118.
- CESEL. (2020). Estudio de Impacto Ambiental Detallado para el Proyecto “Enlace 500 kV Mantaro-Nueva Yanango-Carapongo y Subestaciones Asociadas”. Perú.
- CEPAL. (2015). *La importancia de la energía eléctrica para el desarrollo sostenible*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39852/4/S1500494_es.pdf

- Chandio, I. A., Matori, A. N., WanYusof, K. B., Talpur, M. A., Balogun, A. L., & Lawal, D. U. (2012). GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 3059-3066.
- Chandio, I. A., Matori, A.-N., Lawal, D. U., & Sabri, S. (2011). GIS- based land suitability analysis using AHP for public parks planning in Larkana City. *Modern Applied Science*, 177–189.
- COES SINAC. (2014). *Plan Vinculante para el año 2020. Informe COES/DP-01-2014 “Propuesta Definitiva de Actualización del Plan de Transmisión 2015 - 2024”*. Lima.
- Congreso de La República. (1997). Ley N°26834 Ley de Áreas Naturales Protegidas. Lima, Perú.
- Cotton, M., & Devine-Wright, P. (2011). Discourses of energy infrastructure development: a Q-method study of electricity transmission line siting in the UK. *Environment and Planning, Volume 43*, 942-960.
- Dedemen, Y. (2013). A Multi-Criteria decision analysis approach to Gis-based route selection for overhead power transmission lines. *Thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east Technical University*.
- Devine-Wright, P. (2005). Beyond NIMBYism: towards an intergrated framework for understanding public perceptions of wind energy. . *Wind Energy* 8, 125–139.
- Diario Gestión. (23 de Octubre de 2023). *ISA inaugura megaproyecto eléctrico Coya en Perú: inversión y alcance de la obra*. Recuperado de https://gestion.pe/economia/empresas/isa-inaugura-megaproyecto-electrico-coya-en-peru-inversion-y-alcance-de-la-obra-noticia/?ref=gesr#google_vignette
- Ekel, P., Lisboa, A., Jr., J. P., Vieira, D., Silva, L., & D'Angelo, M. (2019). Two-stage multicriteria georeferenced express analysis of new electric transmission line projects. *Electrical Power and Energy Systems*, 415-431.
- Electric, S. (2021). *The importance of electric power transmission and distribution in today's modern world*. Recuperado de <https://www.se.com/us/en/about-us/newsroom/blog/the-importance-of-electric-power-transmission-and-distribution-in-todays-modern-world.jsp>

- Elliott, P., & Wadley, D. (2012). Coming to terms with power lines. *International Planning Studies*, 179–201.
- Energy, U. D. (2021). *The importance of electricity in modern society*. Recuperado de Energy.gov. : <https://www.energy.gov/articles/importance-electricity-modern-society>
- Eroglu, H., & Aydin, M. (2015). Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, Fuzzy AHP and GIS. . *Online journals.tubitak.gov.tr*.
- Eroglu, H., & Aydin, M. (2015). Optimization of electrical power transmission lines" routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 1418 – 1430.
- Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en medición*, 27-36.
- Fatou, T., & Christopher, D. (2016). *Automated Transmission Expansion and Routing Incorporating Electric and Geographic Criteria*.
- Fernández Lizana, M. I. (2020). Ventajas de R como herramienta para el Análisis y Visualización de datos en Ciencias Sociales. *Revista Científica de la UCSA*, 97-111.
- Fuentes, J. L., & Ferrer, P. (2015). Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Miño-Sil river basin, Spain. *Ecological Engineering*, 307-316.
- Fuentes-Bargues, J. L., & Ferrer-Gisbert, P. S. (2015). Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Mino-Sil river basin, Spain. *Ecological Engineering* , 307–316.
- González Del Campo, A. (2017). Mapping environmental sensitivity: A systematic online approach to support environmental assessment and planning. *Environmental Impact Assessment Review*, 86-98.
- Hasan, K. N., Saha, T. K., Eghbal, M., & Chattopadhyay, D. (2013). Review of transmission schemes and case studies for renewable power integration into the remote grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 568–582.

- Hua, A., & Ping, O. (2018). The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *European Journal of Remote Sensing*, 1049-1069.
- Hyrkäs, K., Appelqvist-Schmidlechner, K., & Oksa, L. (2003). Validating an instrument for clinical supervision using an expert panel. *International Journal of nursing studies*, 619-625.
- IAEA. (2014). *Electricity market trends* . Recuperado de http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull461/power_to_the_people.html#electricity
- IPIECA. (2012). *Sensitivity mapping for oil spill response*. London: 4 Albert Embankment.
- Jafari, S., & Zaredar, N. (2010). Land suitability analysis using multi attribute decision making approach. *Int J Environ Sci Dev*, 1:441–445.
- Jankowski, P. (1995). *Int J Geogr*, 251–27.
- Kablan, M. (2004). Decision support for energy conservation promotion:: an analytic hierarchy process approach. *Energy Policy*, 1151-1158.
- Kim, K., Uysal, M., & Sirgy, M. J. (2013). How does tourism in a community impact the quality of life of community residents? *Tourism Management*, 527-540.
- Kishore, T., & Singal, S. (2014). Optimal economic planning of power transmission lines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 949-974.
- Koundinya, S., Chattopadhyay, D., & Ramanathan, R. (1995). Incorporating Qualitative Objectives in Integrated Resource Planning: Application of Analytic Hierarchy Process and Compromise Programming. *Energy Sources* , 565–581.
- López-Marrero, T., González-Toro, A., Heartsill-Scalley, T., & Hermansen Báez, L. A. (2011). Multi-Criteria Evaluation and Geographic Information Systems for Land-Use Planning and Decision Making. Gainesville: USDA Forest Service, Southern Research Station.
- Manson, S., Bonsal, D., Kernik, M., & Lambin, E. (2015). International encyclopedia of the social & behavioral sciences-2nd . *Oxford: Elsevier*, 64-68.

- Marshall, R., & Baxter, R. (2002). Strategic Routeing and Environmental Impact Assessment for Overhead Electrical Transmission Lines. *Environmental Planning and Management*, 747-764.
- Marshall, R., & Baxter, R. (2002). Strategic Routeing and Environmental Impact Assessment for Overhead Electrical Transmission Lines. *Environmental Planning and Management*, 747-764. doi:10.1080/0964056022000013101
- McGartland, D., Berg, M., Tebb, S., Lee, E., & Rauch, S. (2003). Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research. *Social Work Research*, 94-104.
- Meuser, M., & Nagel, U. (1991). ExpertInneninterviews—vielfach erprobt, wenig bedacht. *Qualitativ-empirische sozialforschung*. Springer, 441–471.
- MINAGRI. (2015). Reglamento de la gestión forestal. DS N°018 -2015 – MINAGRI. Lima, Perú.
- MINAM. (2009). Ley del Sistema Nacional de evaluación de Impacto Ambiental y su Reglamento. Lima, Peru.
- MINAM. (2011). Guía para Evaluación de Riesgos Ambientales. Lima, Perú.
- MINAM. (01 de ENERO de 2011). SINIA. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-riesgos-ambientales>
- MINCUL. (1987). LEY N° 24656. Ley General de Comunidades Campesinas. Lima, Perú.
- MINCUL. (2022). *Base de Datos de Pueblos Indígenas u Originarios (BDPI)*. Recuperado de <https://bdpi.cultura.gob.pe/pueblos-indigenas>
- Mohit, M., & Ali, M. (2006). Integrating GIS and AHP for land suitability analysis for urban development in a secondary city of Bangladesh. *Jurnal alam Bina*, 8:1–19.
- Monteiro, C., Miranda, V., Ramírez-Rosado, I. J., Zorzano-Santamaría, P. J., GarcíaGarrido, E., & Fernandez-Jimenez, L. A. (2005). Compromise seeking for power line path selection based on economic and environmental corridors. *Power Systems, IEEE Transactions*, 1422-1430.
- Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi, Y., & Rosso, D. (2020). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strategy Reviews*, 100478.

- Nachite, D., Del Estal, N., El M´rini, A., & Anfuso, G. (2020). Environmental Sensitivity Index maps in a high maritime transit area: The Moroccan coast of the Gibraltar Strait study case. *Journal of African Earth Sciences*, 103750.
- Narulita, S., Zain, A., & Prasetyo, L. (2016). Geographic Information System (GIS) Application on Urban Forest Development in Bandung City. *Procedia Environmental Sciences*, 279-289.
- Nautilus Institute. (2013). *International Best Practices for Assessing and Reducing the Environmental Impacts of High-Voltage Transmission Lines*. Vladivostok.
- Nixon, J. D., Dey, P. K., & Davies, P. A. (2010). Which is the best solar thermal collection technology for electricity generation in north-west India? Evaluation of options using the analytical hierarchy process. *Energy*, 5230–5240.
- Núñez, V. (2014). Sensitivity Maps in Environmental Impact Studies. *Global Journal of Human-Social Science: B Geography, Geo-Sciences, Environmental Disaster Management*, 12-30.
- OSINERGMIN. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. GRÁFICA BIBLOS S.A.
- Poku, S., & Arditi, D. (2006). Construction scheduling and progress control using geographical information systems. *Computing in Civil Engineering*, 351 - 360.
- QGIS Development Team. (2022). Quantum GIS Geographic Information System. Versión 3.16 [Software]. Recuperado de <https://qgis.org>
- R Studio Team. (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: Pinnacle of Quality. .
- Rahayuningsih, T., Muntasib, E. H., & Prasetyo, L. B. (2016). Nature Based Tourism Resources Assessment Using Geographic Information System (GIS): Case Study in Bogor. *Procedia Environmental Sciences*, 365-375.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: A case study at Mehran Region, Iran. *CATENA*, 360-372.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 9-26.

- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. En *International Journal of Services Sciences* (págs. 83-98). Pittsburgh.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Mathematical Psychology*, 234-281.
- Salas, E. (2002). Planificación ecológica del territorio. Guía Metodológica. Santiago, Chile: Universidad Nacional de Chile.
- Sandia, L., & Henao, A. (2001). *Sensibilidad Ambiental y sistemas de información geográfica*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Mérida. Recuperado el Agosto de 2020
- SENACE. (2022). *Plataforma Informática EVA. Consulta Ciudadana*. . Recuperado de <https://consultaciudadana.senace.gob.pe/#/home>.
- Senante, M. M., Gómez, T., Caballero, R., Sancho, F. H., & Garrido, R. S. (2015). Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: An analytic network process approach. *Science of The Total Environment*, 676-687.
- SERFOR. (2017). *Resolución de Dirección Ejecutiva N°105-2017-SERFOR-DE. Lineamientos para el otorgamiento de concesiones forestales con fines maderables por concurso público*. Lima, Perú.
- Shafiullah, M., Rahman, S. M., Mortoja, M. G., & Al-Ramadan, B. (2016). Role of spatial analysis technology in power system industry: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 584-595.
- Steinemann, A. (2001). Improving alternatives for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 3-21.
- Suárez-Vega, R., Santos-Peñate, D. R., Dorta-González, P., & Rodríguez-Díaz, M. (2011). A multi-criteria GIS based procedure to solve a network competitive location problem. *Applied Geography*, 282-291.
- Surrey, J. (2003). *World energy, technology and climate policy outlook 2030*.
- TBC. (2006). *The Biodiversity Consultancy*. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de <http://www.thebiodiversityconsultancy.com/es/approaches/mitigation-hierarchy/>

- Tomaschek, J., Kober, R., Fahl, U., & Lozynskyy, Y. (2016). Energy system modelling and GIS to build an Integrated Climate Protection Concept for Gauteng Province, South Africa. *Energy Policy*, 445-455.
- Turk, T., Kitapci, O., & Dortyol, I. T. (2014). The Usage of Geographical Information Systems (GIS) in the Marketing Decision Making Process: A Case Study for Determining Supermarket Locations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227-235.
- Veronesi, F., Schito, J., Grassi, S., Raubal, & Martin. (2017). Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. *Applied Geography*, 78-85.
- Xin, T. K., & Chan, J. K. (2014). Tour Operator Perspectives on Responsible Tourism Indicators of Kinabalu National Park, Sabah. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 25-34.
- Yadav, S. K. (2013). GIS in Power Sector Management. *Engineering Research and Technology*, 759-766.
- Zabihi, H., Alizadeh, M., Wolf, I. D., Karami, M., Ahmad, A., & Salamian, H. (2020). A GIS-based fuzzy-analytic hierarchy process (F-AHP) for ecotourism suitability decision making: A case study of Babol in Iran. *Tourism Management Perspectives*, 100726.
- Zahibi, H., Alizadeh, M., Wolf, I., Karami, M., Ahmad, A., & Salamian, H. (2020). A GIS-based fuzzy-analytic hierarchy process (F-AHP) for ecotourism. *Tourism Management Perspectives*.
- Zambrano, G. (2021). *Comunidades campesinas, comunidades nativas, y pueblos indígenas: discusión sobre el sujeto de derecho*. Recuperado de <https://ius360.com/comunidades-campesinas-comunidades-nativas-y-pueblos-indigenas-discusion-sobre-el-sujeto-de-derecho/>

VIII. ANEXOS

Anexo 2: Formato de prueba de consistencia

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	DETERMINACIÓN DE PESOS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)															
2																
3		C1	C2	C3	Wi	Ci	LAMDAi									
4	C1	1	0.20	0.14	0.31	0.07	0.94									
5	C2	5.00	1	0.33	1.19	0.28	1.17									
6	C3	7.00	3.00	1	2.76	0.65	0.96									
7																
8																
9	Pi	13.00	4.20	1.48	4.25		3.06	λmax								
10																
11	Objetivo				PESOS											
12	C1				0.07	C1										
13	C2				0.28	C2										
14	C3				0.65	C3										
15					1.00											
16																
17																
18	Ci=	0.03244379			$C_i = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$											
19																
20	Rci=	0.66			$R_{ci} = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$											
21																
22	CR=	0.0492	Consistente		$CR = C_i / R_{ci}$											
23																
24	Es de suma importancia leer los comentarios para configurar correctamente la plantilla.															
25																
26	Nota: La calificación se da en función del problema (vulnerabilidad/amenaza/riesgo), es directamente proporcional.															
27																
28																
29																
30																
31																



FUENTE: Arcgeek. Adaptado de Saaty (2008).

Anexo 3: Perfil profesional de expertos

N°	Nombre y apellidos	Años de Experiencia	Profesión	Experiencia
1	Ricardo Quispe	10	Ing. Ambiental	Ing. Ambiental especializado en consultoría ambiental de LT
2	Angela Bolaños	6	Abogada	Abogada especializada en gestión ambiental, social y predial del sector energético
3	Nadia Rivera	5	Licenciada en gestión de alta dirección	Gestión en alta dirección especializada en aspectos sociales
4	Sharon Jalk	6	Ing Geógrafa	Ing Geógrafa especializada en gestión predial con comunidades
5	Cinthia Bujaico	5	Ing. Ambiental	Ing. Ambiental especializada en consultoría ambiental en el sector minero energético
6	Carlos RivaAguero	10	Ing. Ambiental	Ing. Ambiental especializado en gestión ambiental liderando proyectos ambientales en el sector de energía.
7	Yoel Pomahuali	5	Ing. Electricista	Ing. Electricista especializado en el gerenciamiento de la construcción de LT
8	Paul Luque	5	Ing. Ambiental	Ing. Ambiental especializado en la gestión ambiental del sector público
9	Tony Marin	10	Ing. Ambiental	Ing. Ambiental especializado en salud y seguridad en el trabajo (SST) en el sector energético
10	Bianca Vigil	5	Bióloga	Bióloga especializada en fortalecimiento de capacidades con Comunidades gestión pública de proyectos agropecuarios
11	Nataly Yrupailla	8	Abogada	Abogada especialista en el área de Fiscalización Ambiental del OEFA en materia energética
12	Cesar Fuentes	10	Ing. Ambiental	Experto en gestión ambiental y de biodiversidad, liderando proyectos ambientales en los sectores de minería y energía.