



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES CILINDRO
PARABÓLICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EMPLEANDO
TÉCNICAS MULTICRITERIO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: JOSÉ LUIS CASTILLO BARRE

ANGÉLICA MARÍA GALINDO ESPINOZA

TUTOR: ING. EDGAR ANTONIO BARRAGÁN ESCANDÓN, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Luis Castillo Barre con documento de identificación N° 0921173985 y Angélica María Galindo Espinoza con documento de identificación N° 0104828926; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 15 de febrero del 2023

Atentamente,



José Luis Castillo Barre

0921173985



Angélica María Galindo Espinoza

0104828926

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, José Luis Castillo Barre con documento de identificación N° 0921173985 y Angélica María Galindo Espinoza con documento de identificación N° 0104828926, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico con enfoque investigativo: “Análisis y propuesta de implementación de colectores cilindro parabólicos para la producción de electricidad empleando técnicas multicriterio”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de febrero del 2023

Atentamente,



José Luis Castillo Barre

0921173985



Angélica María Galindo Espinoza

0104828926

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edgar Antonio Barragán Escandón con documento de identificación N° 0102516457, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EMPLEANDO TÉCNICAS MULTICRITERIO, realizado por José Luis Castillo Barre con documento de identificación N° 0921173985 y por Angélica María Galindo Espinoza. con documento de identificación N° 0104828926, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico con enfoque investigativo que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de febrero del 2023

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
EDGAR ANTONIO
BARRAGAN ESCANDON

Ing. Edgar Antonio Barragán Escandón, Ph.D.

0102516457

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada para Dios, a mis padres Luis y Yolanda que jamás me abandonaron en este camino, por su sacrificio y por su amor incondicional, por creer en mi desde el principio, a mi tía Graciela que me dio ese impulso cuando estaba por rendirme y a toda mi familia por darme el apoyo que necesitaba, he aprendido mucho de ustedes, porque forjaron mis principios y mis valores.

También quiero dedicar este proyecto a mi esposa Angélica Galindo, por siempre tenerme paciencia, comprensión y por el amor que me ha brindado, simplemente ella me ha ayudado alcanzar el equilibrio que me permite dar todo mi potencial, además por ser parte importante en este proceso hacia el camino de ser ingenieros.

José Luis Castillo Barre.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios quien ha sido mi fortaleza y protector durante toda mi vida.

A mi mamá, Silvia Galindo que con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mi hermano José Luis por ser quien creyó en mi potencial y me guio hacia esta hermosa universidad, a mis tíos Abico, Ana, Carmen y Angelita que siempre estuvieron pendientes de todo este proceso y por estar conmigo en todo momento gracias.

A mis Abuelitos José y Rebeca porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A todos mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevo en mi corazón.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi esposo José Luis Castillo que en el camino de este hermoso sueño lo conocí y hoy junto a él lograremos una gran meta el ser ingenieros eléctricos.

Angélica María Galindo Espinoza.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme guiado y darme fuerzas para seguir hacia delante, a nuestro tutor de tesis Ingeniero Edgar Antonio Barragán, por sus valiosas contribuciones, su apoyo y su tiempo empleado que fue importante para el desarrollo de este proyecto. A la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes que conforman esta prestigiosa institución por transmitirme sus conocimientos y forjar mi desarrollo personal y profesional.

Agradezco a mis Padres Luis y Yolanda, a mi hermano Ronald, a mi tía Graciela y a toda mi familia que siempre estuvieron allí para brindarme su apoyo incondicional para cumplir mis objetivos y metas.

De manera especial quiero agradecer a mi bella esposa Angélica por siempre motivarme a ser una mejor persona, por darme ese impulso que necesito día a día y ser la inspiración en mi vida ya que sin ella no hubiera sido posible este logro.

Y todos mis amigos que conocí en este maravilloso trayecto, por haber compartido experiencias personales y universitarias que de algún modo nos ayudaron a llegar a nuestra meta final.

José Luis Castillo Barre.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Le agradezco a mi mami por siempre apoyarme, impulsarme, ayudarme a cumplir mis metas y estar siempre pendiente de mis avances profesionales y personales.

Agradezco a mi esposo José que fue un gran equipo en este trabajo de titulación, gracias por ser mi compañero en esas clases difíciles y en este proceso de titulación que sin duda nos enseñó a trabajar en pareja y a impulsarnos para lograr una de nuestras metas.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Politécnica Salesiana, por compartir todos sus conocimientos y permitirme tener una excelente experiencia estudiantil, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

Le agradezco especialmente al PhD. Antonio Barragán por su paciencia en orientarnos y por sus útiles críticas de este proyecto de titulación.

Gracias a mis grandes amigos, Angélica, Franklin, Carlos C, Carlos B, Andrés Ch, David C, Daniel P, Byron B, Luis G, Kevin H, Alex Zh, con quienes compartimos las aulas y nos apoyamos para poder llegar a la gran meta de ser ingenieros eléctricos.

Gracias, infinitas a todos.

Angélica María Galindo Espinoza.

RESUMEN

La dependencia de los combustibles fósiles para generar electricidad en el Ecuador debe reducirse para mitigar los problemas económicos y ambientales. Por ello, se buscan nuevas alternativas para la generación de energía y promover la seguridad energética. Una alternativa para poder solucionar la demanda eléctrica es utilizar energía solar térmica. El objetivo de esta investigación es encontrar sitios para la generación de energía eléctrica mediante la colocación de colectores cilindro parabólicos (CCP). Se identificará el sitio más apropiado de acuerdo con las características del área, para la colocación de los CCP, utilizando una técnica multicriterio seleccionada en el desarrollo de este estudio. Se analizarán tres lugares de la provincia del Azuay, los cuales se caracterizarán por su clima, zona geográfica, cercanía a una subestación y recurso hídrico. A través de esta investigación se pudo determinar que las técnicas multicriterio permiten solucionar problemas en la planificación energética en la provincia del Azuay. Estas técnicas permiten la sustentabilidad de acuerdo a los recursos existentes en la zona.

ABSTRACT

The dependence on fossil fuels to generate electricity in Ecuador must be reduced to mitigate economic and environmental issues. Therefore, new alternatives are sought for energy generation and promote energy security. An alternative to be able to solve the electrical demand is to use solar thermal energy. The objective of this research is to find sites for the generation of electrical energy through the placement of parabolic trough collectors (PTC). The most appropriate site will be identified according to the characteristics of the area, for the placement of PTCs, using a multicriteria technique selected in the development of this study. Three places in the province of Azuay will be

analyzed, and they will be characterized by their climate, geographical area, proximity to a substation and a water resource. Through this investigation it was possible to determine that multicriteria techniques allow solving problems in energy planning in the province of Azuay. These techniques allow sustainability according to existing resources in the area.

PALABRAS CLAVES TEMATICAS

Colectores Cilindro Parabólicos.

Colector Solar Concentrado.

Colector Solar No Concentrado.

Capacidad térmica

Radiación normal directa.

Métodos Multicriterio

Fotovoltaico

Modelo AHP

INDICE

GLOSARIO	14
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Antecedentes	15
1.1.1. Irradiación solar.....	16
1.2. Planteamiento del problema	16
1.3. Justificación	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos.....	18
1.5. Alcance	18
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Sistemas solares de generación eléctrica.....	18
2.2. Tipos de tecnologías útiles en generación solar	19
2.2.1. Torre solar	19
2.2.2. Lineal fresnel	20
2.2.3. Discos parabólicos	21
2.2.4. Tecnología de cilindro parabólico	22
2.3. Alternativa para la generación de energía eléctrica en la provincia del Azuay a partir de tecnologías termosolares.....	24
2.3.1. Requisitos básicos para la instalación de la central termo solar.....	25
2.3.2. Eficiencia y costos de las centrales eléctricas de colectores cilindro parabólicas	28
2.3.3. Situación de los concentradores solares nivel mundial	29
2.4. Métodos multicriterio	31
2.4.1. Componentes de una evaluación multicriterio.....	31
2.4.2. Clasificación de los métodos MCDM.....	32
2.4.3. Selección de la técnica MCDM	35
2.4.4. Aplicaciones de técnicas multicriterio.....	36
3. METODOLOGIA	37
3.1 Esquema de pasos metodológicos	37
3.1.1 Recopilación de información.....	39
3.2 Aplicación del método de selección multicriterio AHP Analytic Hierarchy Procces.....	42
3.2.1 Diseño del modelo jerárquico	42

3.2.2 Cálculo del vector de pesos de criterio	44
3.2.3 Cálculo de la matriz de puntuación de las alternativas.....	47
4. SELECCIÓN DE ZONA ÓPTIMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA PROVINCIA DEL AZUAY	52
4.1 Análisis de resultado	53
5. CONCLUSIONES.....	55
REFERENCIAS	56
ANEXO 1	65
ANEXO 2	66

GLOSARIO

CCP Colectores Cilindro Parabólicos.

CSC Colector Solar Concentrado.

CSNC Colector Solar No Concentrado.

kWt Capacidad térmica instalada en kilowatts.

CSP Colector Solar de Potencia.

HTF Sistema de aceite térmico.

DNI Radiación normal directa.

SEGS Sistemas generadores de energía solar.

MSNM Metros sobre el nivel del mar

MCDM Métodos Multicriterio

PV Fotovoltaico

TES Sistema de almacenamiento de energía térmica

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EMPLEANDO TÉCNICAS MULTICRITERIO.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Desde los años 60s y 70s la contaminación del ambiente se ha ido intensificado debido al uso de combustibles fósiles, particularmente en la producción de electricidad. Esto ha provocado un incremento en la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, por lo que se busca otras alternativas de producción, entre las cuales destaca las energías renovables [1]. Desde la década de los 70 el uso de energía solar ha sido considerada como una de las principales opciones de energía alternativa. A pesar de que la producción de electricidad puede obtenerse desde diferentes opciones, se ha prestado mayor interés a los sistemas fotovoltaicos [2].

La energía fotovoltaica ha sido una de las tecnologías más estudiadas y actualmente se destaca su alto grado de madurez, sin embargo, no es la única opción para producir energía eléctrica a partir del recurso solar. Existen también tecnologías como la torre solar, lineal Fresnel, discos parabólicos y colectores cilindro parabólicos (CCP). En particular los CCP han despertado un interés que ha permitido concretar proyectos ambiciosos [3].

Para el año 2010 la energía renovable bordeaba los 42 GW de capacidad de generación eléctrica, de los cuales 1 GW correspondía a la energía solar térmica. Para el año 2019 ascendió a 586 GW de renovables, de estos 6 GW fue energía solar térmica [4].

Los CCPs son una tecnología limpia y madura con una larga historia, y actualmente está lista para su implementación a gran escala [4]. Desde el año 1980, la tecnología CCP se ha instalado comercialmente con un rendimiento aproximado de 62%. El rendimiento varía según las características climatológicas y geográficas del emplazamiento de la instalación. Desde entonces, ha experimentado mejoras significativas en costos y rendimiento. Actualmente, los países que operan este tipo de plantas son: España (principal impulsor de la tecnología termo solar), Estados Unidos, Marruecos, Argelia, Egipto, Australia, Sudáfrica, India, México y Chile [5], [6].

1.1.1. Irradiación solar

El Sol, emite constantemente radiación al espacio, por lo que la energía capturada por la tierra es de aproximadamente $1,7E14 \text{ kW}$ [7]. La radiación solar no es más que la transferencia de energía a través de un medio físico o vacío, en forma de ondas electromagnéticas, los cuales llegan a la superficie de la Tierra. Esta energía no llega de forma constante debido a varios factores de la atmósfera como el clima, polución o nubosidad [7].

En Ecuador la radiación solar a medio día llega a la tierra con un ángulo de incidencia casi perpendicular. Al tener estacionalidad constante, este recurso es estable a lo largo del año [8]. La irradiación solar global anual (GHI) sobre Ecuador es aproximadamente 1.660 kWh/m^2 al año variando desde $3,35 \text{ kWh/m}^2$ día a $4,33 \text{ kWh/m}^2$ día [9], siendo las zonas con una altitud elevada las que tienen mayores niveles de radiación [10]. En Cuenca, la exposición diaria a la radiación estimada utilizando el modelo de Bristow y Campbell es de $4,26 \text{ kWh/m}^2$ o aproximadamente 1.560 kWh/m^2 año [11]. Para la implementación de CCPs la irradiación debe ser de 1700 kWh/m^2 anual o $5,65 \text{ kWh/m}^2$ diario [12]. Por lo que en Ecuador se podría implementar estas plantas de generación eléctrica.

1.2. Planteamiento del problema

El aumento demográfico y el ascenso de la calidad de vida de la población han provocado un mayor consumo energético. Azuay enfrenta un gran desafío para proporcionar suficiente energía a toda la provincia, incluso si eso significa usar combustibles fósiles [13].

A pesar del severo impacto ambiental y el agotamiento de los recursos fósiles, la descarbonización del sector eléctrico es un reto. La ventaja de las centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles es que se pueden instalar en el menor tiempo y los costos de generación de energía son más bajos que otros modelos de tecnologías. Esto significa que el suministro de energía sigue dependiendo de fuentes de energía no renovables. [13], [14].

En la actualidad, el uso de energías renovables ha incrementado dado que el costo de implementación se ha reducido considerablemente. Por ejemplo a finales del año 2019 mundialmente la generación eléctrica a través de las energías renovables fue del 27,3%, de los cuales el 15,9% fue de origen hidroeléctrico, el 5,9% de energía eólica, el 2,8% de energía fotovoltaica, el 2,2% de bioenergía y el 0,4% correspondió a energía solar térmica de

concentración, energía geotérmica y oceánica [15]. Por lo tanto, tomando esta referencia en el futuro se está considerando su implementación en varios lugares [14].

La producción de energía térmica es una opción debido a las características climatológicas y geográficas que poseen algunos cantones del Ecuador. Al estudiar la implementación de CCPs para la producción de electricidad en Azuay, se puede establecer políticas públicas que permitan su desarrollo [14].

1.3. Justificación

El Ecuador depende de los recursos fósiles para generar energía eléctrica. En el 2019 las centrales eléctricas no renovables como el MCI, turbogas y el turbovapor tuvieron el 35,12% de participación en potencia, mientras que el 62,51% fueron de fuentes hidráulicas y el 2,37% de las fuentes renovables como la fotovoltaica, eólica o biomasa. [8], [16]. La alta dependencia del recurso agua, puede ser un inconveniente en el futuro debido a las variaciones climáticas producto del calentamiento global. De allí que se requiere una matriz energética diversificada que posibilite enfrentar posibles estiajes, y además promover la seguridad energética.

Una alternativa para poder solventar la demanda eléctrica es emplear la energía solar térmica. Se estima que para el año 2100 el consumo energético mundial sea a través de las tecnologías solares, representando el 70% de la energía eléctrica, aproximadamente 1'178.207,1 GWh. [3].

Bajo esta perspectiva se requiere modificar la producción de energía a partir de nuevas fuentes. En este sentido el uso de las tecnologías conocidas como renovables se han desarrollado a tal punto que su uso en las matrices energéticas de diversos países es común [1]. El empleo de sistemas de concentración solar para producir energía eléctrica ha sido menos estudiado. Este proyecto busca analizar si esta opción es factible de implementar en el ámbito de la provincia del Azuay. Para ello, se utilizarán técnicas multicriterio para determinar si una opción técnica es adecuada para su instalación en el área de estudio en función de las condiciones técnicas, económicas, ambientales o sociales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Identificar sitios para la colocación de colectores cilíndricos parabólicos en la provincia del Azuay, empleando técnicas multicriterio.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer características adecuadas para la implementación de colectores cilindro parabólico para ser instalados en la provincia del Azuay.
- Estudiar técnicas multicriterio y definir la técnica multicriterio más adecuada para la implementación de colectores cilindro parabólicos en la provincia del Azuay.
- Aplicar la técnica multicriterio seleccionada para la selección de sitios más adecuados para la incorporación de cilindros parabólicos en la provincia del Azuay.

1.5. Alcance

Este estudio se centrará en el análisis y propuesta de implementación de colectores cilindro parabólicos (CCP) en la provincia del Azuay. La ubicación más adecuada se determinará en función de las características del área mediante el método multicriterio elegido en el diseño de este estudio para la colocación del CCPs. Se analizará tres lugares de la provincia, y se caracterizarán por su clima, zona geográfica, cercanía a una subestación y un recurso hídrico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas solares de generación eléctrica

Un sistema de generación de energía solar se define como una serie de procesos necesarios para convertir la energía solar en energía mecánica, que luego se utilizará como energía eléctrica [3], [8]. En el contexto económico, debido al progreso tecnológico, la producción en masa, las economías de escala y las mejoras operativas, las centrales termosolares están en condiciones de competir con las centrales térmicas convencionales [3], [8]. En 2019, la capacidad instalada global total aumentó a 2.588 GW, de los cuales el 27,3% correspondió a energías renovables. [15]. Una de las inquietudes referentes a la implantación de sistemas solares es la variabilidad del recurso. Por ello, se han desarrollado acumuladores para la generación de energía solar térmica que pueden almacenar energía hasta 7,5 horas, suficiente para su uso nocturno. [15].

2.2. Tipos de tecnologías útiles en generación solar

La producción de energía solar térmica combina varias tecnologías diferentes y se caracteriza por concentrar la energía solar a una temperatura que permite la producción de electricidad.

Cuando se genera electricidad a partir de sistemas solares, existen diferentes configuraciones según el rango de temperatura: temperatura baja, media y alta. [17].

- Baja temperaturas

Para calentar por debajo del punto de ebullición, es decir por debajo de los cien grados Celsius ($T < 100^{\circ}\text{C}$) [17], [18].

- Media temperatura

Estos sistemas se utilizan para producir vapor u otro tipo de fluidos y pueden soportar temperaturas de hasta tres cientos grados centígrados ($100^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$) [17], [18].

- Alta temperatura

Se utilizan en sistemas que demandan temperaturas que superen los trescientos grados centígrados, especialmente en la generación de energía ($T > 300^{\circ}\text{C}$) [17].

A continuación, se describen brevemente las tecnologías de media y alta temperatura:

- Torre solar
- Lineal Fresnel
- Discos parabólicos
- Cilindro parabólico [17].

2.2.1. Torre solar

Se emplea un fluido caliente (HTF del inglés Heat transfer fluid) que puede ser gas, aceite o sales fundidas a una temperatura de 1000°C . Los heliostatos están dispuestos en una configuración circular (grandes espejos que se mueven en dos ejes, instalados en un ángulo de elevación), que permite reflejar la radiación normal directa (DNI) en el foco del receptor en la cima de una torre, como se puede observar en la Figura 2-1. El sistema de aceite térmico (HTF) se calienta y pasa a través de un intercambiador de calor para generar vapor para una

turbina de ciclo de vapor convencional. Este aire/gas se usa directamente en la turbina, y se alcanzan eficiencias de aproximadamente el 60% [3], [8].

El costo de inversión actual en el entorno es de 2,43 USD/W. Este tipo de tecnologías puede emplearse principalmente para la producción de calor de altas temperaturas [17].

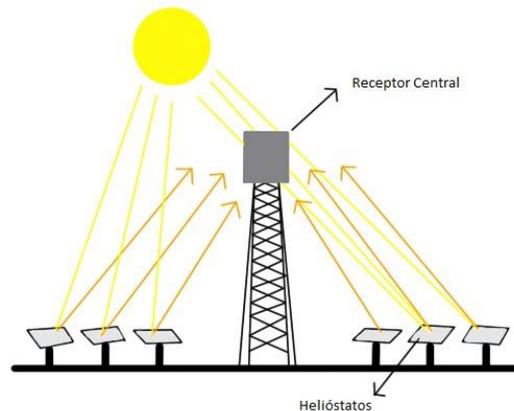


Figura 2-1 Receptor de Torre Central

2.2.2. Lineal fresnel

Como se observa en la Figura 2-2, trata de una disposición lineal de espejos lisos que refleja el DNI en el receptor situado en el centro del dispositivo. HTF es agua, aceite convertido en vapor por DNI reflejado. Esta tecnología es una alternativa económica a los rayos parabólicos en la producción de calor y vapor para la industria, debido a sus bajos costos de infraestructura y sus receptores no están conectados a sistemas de espejos. [3], [8].

Aunque producen menos que las cilindro parabólicas, las plantas Fresnel tienen una inversión inicial y unos costes de mantenimiento mucho más bajos. Tiene la sencillez de hacer un espejo primario y es más fácil de limpiar.

El costo de inversión asociado al área del campo necesario para la tecnología lineal Fresnel está a 2,73USD/kW y la temperatura de operación de esta tecnología es de 380 °C [19].

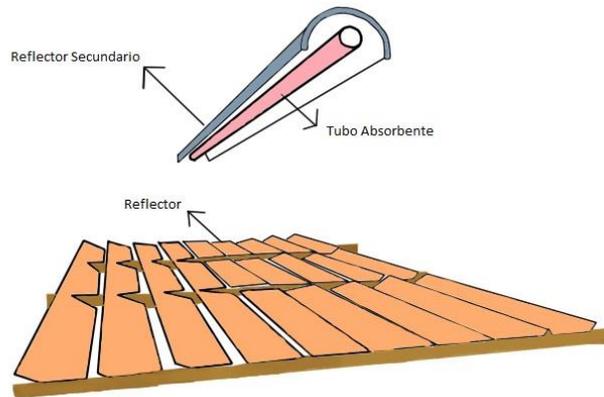


Figura 2-2 Lineal Fresnel

2.2.3. Discos parabólicos

El método se basa en un solo reflector parabólico, que parece una parábola, en el que se disponen varios espejos, dirigidos al punto focal, como se muestra en la Fig. 2-3. El método de captación de energía solar de este sistema se basa en reflejar los rayos del Sol hacia un receptor. El cual estará fijado a la estructura del soporte que permite seguir la trayectoria del Sol [4].

Junto al receptor se encuentra un motor Stirling el cual convierte la energía térmica en energía mecánica, estos motores cuentan con dos pistones, además de que lleva acoplado un alternador para generar energía eléctrica [4].

Este sistema tiene una eficiencia de hasta el 40% y alcanzando temperaturas de 1500 °C, su capacidad de generación eléctrica es de 25kW y los discos pueden tener un diámetro de 10 metros [4]. El costo de inversión actual en el entorno es de 17,16 USD/kW [20].

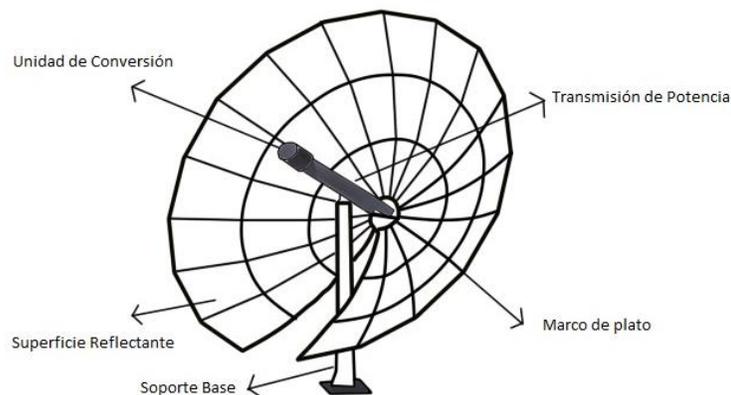


Figura 2-3 Disco Parabólico

2.2.4. Tecnología de cilindro parabólico

El sistema de producción de energía solar térmica consta de colectores parabólicos (reflectores y receptores) que se muestran en la Figura 2-4, fluido de transferencia de calor HTF (normalmente usando aceite sintético, mezcla de agua/vapor o sal fundida), almacenamiento térmico de sal fundida, turbogeneradores, generadores de vapor sistema de condensación y sistemas de control en uso [3], [8].

Los colectores cilindro parabólicos tienen un rendimiento aproximado de 62%. El rendimiento variara según las características climatológicas y geográficas del emplazamiento de la instalación. El costo de inversión actual en el entorno es de 5,40 USD/kW [20]. El rango de temperatura de calentamiento del tubo receptor en dichos sistemas es de 350 °C a 550 °C, que se requiere para calentar el HTF aproximadamente a 400°C y se produce vapor ligeramente sobrecalentado a través de un intercambiador de calor a alta presión para estimular una turbina de vapor acoplada a un generador. Los sistemas solares térmicos también pueden utilizar el Ciclo Combinado Solar Integrado (ISCC), que consiste esencialmente en generar vapor quemando una pequeña cantidad de algún tipo de combustible [3], [21].

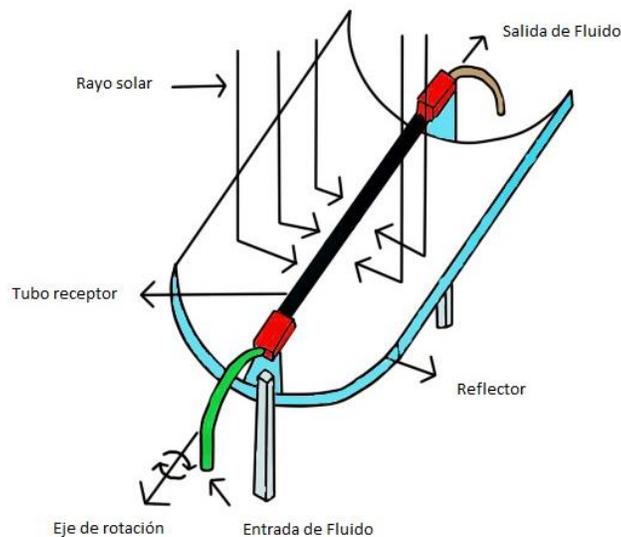


Figura 2-4 Colector Cilindro Parabólico

Las ventajas y desventajas de las tecnologías útiles en generación solar se indican en la Tabla 1.

Tabla 1.- Ventajas y desventajas entre tecnologías útiles en generación solar

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Referencia
Torre Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de trabajo 1000°C. • Factor de potencia promedio 49% <ul style="list-style-type: none"> • Mejor opción para áreas irregulares. • Contenido de almacenamiento a alta temperatura. • La eficiencia neta anual es de 7%-20%. Puede ser usada en plantas híbridas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para que este tipo de planta sea rentable, debe ser de gran escala. • No se recomienda su uso en zonas turísticas porque ocupa mucho espacio visual. 	[3], [10]
Lineal Fresnel	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura operacional de 150°C - 300°C. • Eficiencia nominal 55-65% • Potencia nominal de 550-900W/m² • Factor de capacidad anual 22-24% <ul style="list-style-type: none"> • Costes de instalación y producción reducidos. • Produce de 1,5 a 3 veces más energía que la competencia tecnológica. • Posibilidad de funcionamiento mixto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología limitada a baja escala, en proyectos de pequeña capacidad. 	[22], [23]

<p>Discos Parabólicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia de hasta el 40% alcanzando temperaturas de 1500 °C • Su capacidad de generación eléctrica es de 25kW. • No se utiliza combustible para producir electricidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere una gran cantidad de terreno, en proporción con la energía generada. 	<p>[4]</p>
<p>Cilindro parabólico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas de hasta 400 °C • Eficiencia de conversión del 14% • Menos de 4 metros donde la visión está deteriorada • Muy buena integrabilidad en ciclos convencionales de producción de energía térmica: Rankine, Brayton, Stirling. • Máxima inversión en la red en momentos críticos: meses de verano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transitorios debido al paso de nubes. Es necesario implantar buenas estrategias de control. 	<p>[3], [24]</p>

2.3. Alternativa para la generación de energía eléctrica en la provincia del Azuay a partir de tecnologías termosolares

Los tipos de tecnologías útiles en generación solar expuestos en el numeral 2.2, son instalaciones industriales en las que, calentando un líquido con radiación solar y usándolo en un ciclo termodinámico normal para generar la corriente necesaria para hacer funcionar un alternador, generando así electricidad [25].

En las centrales termosolares, la radiación solar debe concentrarse para alcanzar una temperatura de 300°C a 1000°C en el receptor y conseguir un rendimiento suficiente en el ciclo termodinámico. Hay dos formas de generar energía solar térmica: alta concentración y

baja concentración. La producción mundial de sistemas solares térmicos utilizados para la producción de electricidad está en el rango de 16-20% [25].

2.3.1. Requisitos básicos para la instalación de la central termo solar

A la hora de instalar una central termosolar se deben comparar las características, las ventajas y las desventajas de cada tecnología. En la tabla 2 se muestran las características de la tecnología vistas hasta el momento en el desarrollo de centrales termosolares [26].

Tabla 2.- Parámetros de tecnologías de concentración solar.

Parámetro	Torre Solar	Lineal Fresnel	Discos Parabólicos	Cilindros Parabólicos
Irradiación solar	1800 kWh/m ²	1800 kWh/m ²	1800 kWh/m ²	1800 kWh/m ²
Requerimiento de Tierra (Orografía)	5 a 7 acres por cada MW	5 a 7 acres por cada MW	5 a 7 acres por cada MW	5 a 7 acres por cada MW
Potencia	10 – 200 MW	15 MW	1	10 - 250 MW
Temperatura operación	565°	300°	800°	390°
Factor de capacidad anual	20 – 77%	22 – 24 %	25 %	23 - 50 %
Eficiencia pico	23%	18 – 22 %	29,4%	20%
Eficiencia neta anual	7 – 20%	8 – 10 %	11 - 25%	15%
Estado Comercial	Demostración	Emergente	Prototipos demostración	Disponible
Riesgo tecnológico	Medio	Media	Alto	Bajo
Almacenamiento	Si	Batería	Baterías	Limitado
Diseños Híbridos	Si	Si	Si	Si
Fuente	[18], [25]	[23], [27]	[25], [28]	[25], [28] [29]

Los cilindros parabólicos son la tecnología más utilizada y representan más del 95 % de las instalaciones de CSP. [30]. La ubicación física de una central termosolar con tecnología CCP se define mediante sus características geográficas, climatológicas, disponibilidad de infraestructura vial, eléctrica u otras que influyen en el diseño:

- Clima

La radiación solar directa anual registrada en la región objetivo afectará directamente la viabilidad económica del proyecto termosolar. Las plantas de este tipo deben instalarse en un lugar cálido y soleado [18], [28].

- Impacto ambiental

Una central termo solar no requiere de ningún tipo de combustión, ya que genera electricidad a partir de la luz solar. Estas centrales son libres de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) o sustancias contaminantes. Durante la vida útil de las centrales termosolares sus instalaciones respetuosas con el medio ambiente [31].

- Radiación

Es un factor decisivo para la viabilidad económica de los sistemas solares térmicos, la radiación solar también determina la disponibilidad de recursos [54]. Las zonas aptas para la colocación de plantas termosolares deben alcanzar al menos 1700kWh/m² de irradiación solar directa al año, y el umbral puede ser aún más bajo, pero el enclave ideal debe estar por encima de los 2500kWh/m² [28].

- Nubosidad

Nubosidad se refiere a una pequeña porción del cielo cubierta por nubes, lo que significa que el sol aparece oculto para el observador.

Para que la instalación de una central termoeléctrica solar se facilite, se requiere un sitio que reciba la máxima radiación directa, lo que significa una alta proporción de días soleados durante todo el año. Las áreas con 3000 horas de sol al año son las mejores, aunque también son factibles las áreas con alrededor de 2300 horas de sol [28].

- Disponibilidad de agua

La disponibilidad de agua depende directamente del tipo de colector utilizado [18]. Los sistemas termosolar requieren vapor de agua para producir electricidad. Esto se logra mediante el uso de un intercambiador de calor en un proceso conocido como ciclo Rankine,

donde un líquido calentado evapora una cierta cantidad de agua y el vapor resultante impulsa una turbina para generar energía [28].

En regiones áridas donde los sistemas solares son más adecuados, la disponibilidad de agua puede ser un factor importante, con 41 a 54 m³/MWh requeridos. Esto significa que para una estación de 10 MWh se requiere 34 m³ por día [28].

- Superficie y topografía

Las superficies planas facilitan la tarea de diseño y construcción de campos solares, ya que el terreno montañoso puede crear sombras [18]. Entre los parámetros propuestos para la colocación de centrales térmicas, se recomienda que la superficie no supere el valor de pendiente del 1% al 3%. Las áreas urbanas, las áreas de protección ambiental y los cuerpos de agua también fueron excluidos del estudio [28].

- Orografía

La orografía permite establecer el relieve terrestre, conjunto de elevaciones o montañas de una zona o localidad pequeña [18]. Mediante la orografía se puede evitar la construcción de una central termo solar en terrenos ondulados o con relieves montañosos y evitar sombras que perjudicarían en la generación eléctrica.

- Accesibilidad

La accesibilidad es un elemento que determina la labor de una instalación, incluidas las redes eléctricas y las carreteras [28].

Red vial:

Son las vías de transporte más importantes de la ciudad hacia las principales ciudades. Una red de carreteras permite que los trabajadores y los suministros lleguen a la central [28].

Red eléctrica:

Encontrar las rutas principales y las redes de alta tensión es uno de los desafíos más importantes al implementar sistemas termosolares, la cercanía a una red eléctrica evitara

gastos extras en el diseño de la central termosolar [18]. Las plantas de concentrador de energía solar (CSP) están ganando impulso debido a su potencial no solo para generar energía durante el día sino por las opciones de almacenamiento (DNI) [29].

Actualmente, CSP y energía solar fotovoltaica (PV) son las dos tecnologías principales para utilizar la energía solar. El sistema CSP usa espejos o lentes para enfocar la energía de la luz solar y luego usa el fluido de transferencia de calor (HTF) para transportar el calor a las turbinas para la producción de energía. Los sistemas fotovoltaicos transforman la energía solar en electricidad mediante células solares. Una desventaja de la celda fotovoltaica es que su eficiencia disminuye a medida que aumenta la temperatura ambiente. La producción de energía en días nublados y por la noche también es un problema [29].

El sistema CSP se puede integrar con un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) para proporcionar energía distribuible bajo demanda, independientemente de las condiciones meteorológicas o climáticas. Además, el sistema CSP es más adecuado para aplicaciones a gran escala porque utiliza turbinas convencionales para generar electricidad [29], [32].

Hasta la fecha, Estados Unidos (40%) y España (60%) son los dos mercados más importantes para las tecnologías de CSP, y la planta de CSP más grande del mundo se puso en servicio en los EE. UU [30].

La tecnología CCP ha madurado en el ámbito de la generación eléctrica a nivel mundial y ha sido acogida por los países pioneros en la energía renovable. Por ende, es una opción para la generación de energía en el Ecuador el cual es un país rico en recursos renovables. El mismo que tiene un alto grado de insolación. La provincia del Azuay al introducir esta tecnología lograría una reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y a su vez tener un entorno más amigable con el medio ambiente.

2.3.2. Eficiencia y costos de las centrales eléctricas de colectores cilindro parabólicas
Según parámetros como la relación de concentración, la intensidad solar y el flujo del fluido de trabajo, la temperatura del fluido de trabajo puede alcanzar los 400 °C. A medida que la energía solar se concentra entre 70 y 100 veces en el sistema, la temperatura de

funcionamiento alcanza los 350 a 550 ° C. La eficiencia solar-eléctrica es del 15% para el sistema [33].

Para las centrales térmicas solares con tecnología CCP, la producción de electricidad en procesos termodinámicos combinados con ciclos combinados es más interesante. Esto puede minimizar los costos de la energía eléctrica producida por los campos CCP. La integración de ciclos combinados se conoce con las siglas ISCCS (Integrated Solar Combined System), por lo que en este caso el fragmento solar se reduce al 15% [34]. El precio del ISCCS fluctúa entre \$0,12 y \$0,17/kWh. Este cambio dependerá de la fracción solar [34]. El costo nivelado actual de la energía (LCOE) es de 0,182 USD/kWh para la energía solar a gran escala según el informe de IRENA (International Renewable Energy Agency) [35].

Los costos según el sitio varían, así la Planta de Energía Solar Andasol 1 ubicada en Andalucía-España de 49,9 MW el cual tuvo un coste de 365 millones de dólares [4] [33] . La Central de Energía Solar Solnova así mismo de 150 MW con tres unidades de 50 MW está situada en Sanlúcar la Mayor-España y costo 823 millones de dólares con una área de 115 hectáreas [36]. .El proyecto Noor I-Ouarzazate de 160 MW que se encuentra al sur de Marruecos cubre 450 hectáreas y llegó a costar 3,9 mil millones de dólares [37].

2.3.3. Situación de los concentradores solares nivel mundial

A nivel mundial esta tecnología se ha ido desarrollando ampliamente. Entre los países que han apostado por esta tecnología son Estados Unidos y España, con una potencia de 1758 MW y 2304 MW respectivamente [21] [38]. En la Tabla 3 se muestra proyectos de sistemas termosolares ubicados en diferentes países.

Tabla 3. Plantas termosolares más grandes del mundo

Proyecto	Ubicación	Capacidad Instalada [MW]	Energía Generada [GWh]	Tipo de Tecnología	Área [km ²]	Hogares Abastecidos	Fuente
Sistemas de Generación de Energía Solar (SEGS)	Desierto de Mojave en California, Estados Unidos	354	662	CCP	6,4749 7	232500	[39]
Estación de generación Solana	Gila Bend , Arizona	280	742	CCP	7,7699 6	70000	[40]
Proyecto de Energía Solar Génesis	Desierto de Mojave en California, Estados Unidos	250	621	CCP	7,8	S/D	[37]
Plataforma Solar Extremadura Solaben	Logrosán / España	200	23,15	CCP	4,4	100000	[37]
Noor I-Ouarzazate	Ouarzazate , al sur de Marruecos	510	500	CCP	4,5	700000	[37]
Planta de Energía Solar Andasol Central de Solnova	Guadix / Andalucía / España	150	540	CCP	0,54	200000	[41]
Planta de Energía Solar Extresol	Sanlúcar la Mayor, España	150	0,11352	CCP	1,15	650	[42]
	Badajoz, España	150	175	CCP	0,5	S/D	[43]

En Latinoamérica también existen diversos proyectos con esta tecnología. En la Tabla 4 se puede apreciar los proyectos que existen en Latinoamérica. Aunque aún son pocos los países como Argentina, Brasil y Chile, que están incursionando con los CCP para generar electricidad [18], [21].

Tabla 4. Proyectos con CCP

Proyecto	Ubicación	Capacidad Instalada [MW]	Estado	Fuente
Helioterm Solar				
Thermal Project (Fase 1)	Estado de Bahía-Brasil	1	Operación	[44]
Pirelli / Archimede	Estado de Bahía-Brasil	1,4	Planificado	[21]
Santa-Efigenia Solar Cogeneration System	Estado de Bahía-Brasil	0,5	Desarrollado	[23]
CEME1 (CSP)	Calama-Chile	70	En ejecución	[45]
Pedro de Valdivia 4 (Phase II)	Calama-Chile	360	Notificado	[46]
Minera el Tesoro	Región de Antofagasta-Chile	7	Operación	[47]
eLlaima y Sunmark	Región de Antofagasta-Chile	32	Operación	[47]

Fuente: [21].

2.4. Métodos multicriterio

Los métodos multicriterio (MCDM del inglés Multiple-criteria Decision-Making), son una herramienta útil para considerar factores de tipo cualitativo y cuantitativo en los problemas de decisión. En estos métodos, desde la perspectiva de la planificación energética, posibilitan elegir entre alternativas definidas y evaluar bajo ciertos criterios la selección de opciones más adecuadas [48].

2.4.1. Componentes de una evaluación multicriterio

Los componentes de una evaluación multicriterio están relacionados con un conjunto de fases que permiten la resolución de problemas. Los primeros tres componentes le permiten

construir la pregunta, y los dos componentes restantes son responsables de su análisis [49] [50], [51].

1. Definición y estructuración del problema

Se debe especificar las condiciones iniciales, describir la cuestión precisa de la indagación, mostrar la notabilidad del problema y establecer los parámetros de la investigación.

2. Descripción de alternativas y potenciales

Identificar las posibles soluciones al problema abordado

3. Determinar criterios de evaluación

Identificar las competencias a desarrollar y comprende el propósito de la situación.

Analizar competencias y capacidades.

4. Evaluar alternativas

Calificar las opciones que se tienen para la solución del problema

5. Elegir la mejor opción.

Mediante la evaluación se elige la mejor alternativa calificada como resolución del problema. Las herramientas multicriterio manejan la estructuración y resolución de problemas de planificación y decisión utilizando múltiples criterios. El juicio de tomar decisiones está concisamente relacionado con la experiencia del tomador de decisiones y muy pocas veces se adopta una solución sistemática [50], [51].

2.4.2. Clasificación de los métodos MCDM

El objetivo del enfoque multicriterio es identificar los criterios y subcriterios de evaluación. Pueden variar según el campo de aplicación y dependen del marco teórico, el tipo de problema, el tipo de resultado que se quiere lograr. Existen métodos universales que se utilizan en diversas aplicaciones y métodos que se han desarrollado para temas específicos [52]. Entre la diversidad de métodos se encuentran:

- **Programación por metas:**

Dado que es imposible optimizar todos los objetivos en competencia, se enfatiza en lograr un nivel satisfactorio para cada criterio u objetivo relacionado con la toma de decisiones. Para ello, todo criterio que se determine que es relevante para la toma de decisiones debe

asociarse con atributos y metas cuantificables o niveles de deseo. Una parte de incierta en el uso de la programación por objetivos es el establecimiento de los niveles deseados de participantes. El método, por otro lado, requiere vincular el objetivo a atributos cuantitativos. Por tanto, el método no atiende a problemas que puedan expresarse en procesos determinados y descarta problemas que incluyen criterios de evaluación subjetivos [52].

- **Programación multiobjetivo:**

Estos métodos se utilizan para encontrar un conjunto de soluciones eficientes en un contexto definido por múltiples objetivos de optimización en competencia que deben cumplir con ciertas restricciones. Cada objetivo debe tener un atributo asignado. Este modelo no refleja las preferencias del tomador de decisiones y las decisiones no están predeterminadas, sino que son el resultado de operaciones matemáticas. Un ejemplo de esto es el conocido método SIMPLEX [52].

- SIMPLEX

Es un proceso sistemático y eficiente para encontrar y probar soluciones que alcanzan el pináculo de la optimización. Los cálculos son iterativos, es decir se aplica sucesivamente un proceso bajo criterios directrices, lo que da por resultado una serie de soluciones hasta que se encuentre la mejor. Este método necesita que las restricciones sean ecuaciones, no desigualdades [53].

- **Métodos basados en la teoría del valor:**

Estos tipos de métodos incluyen la teoría de la utilidad de atributos múltiples (MAUT), las funciones de valor de atributos múltiples (MAVT), el proceso de jerarquía analítica (AHP) [52]. Los valores de varios atributos ayudan a asignar un orden de preferencia, donde a cada alternativa se le otorga un puntaje numérico que indica la importancia del criterio utilizado para tomar la decisión [50].

- MAUT

La teoría de la utilidad de múltiples atributos tiene en cuenta las preferencias de los tomadores de decisiones como una función de utilidad definida por un conjunto de atributos, donde la utilidad de cada atributo/criterio no es necesariamente lineal. MAUT es uno de los métodos más utilizados para generar orden de alternativas [54].

- MAVT

MAVT es un enfoque simple y fácil de usar en el que el tomador de decisiones, en colaboración con el analista, simplemente define una función de valor y define pesos estándar para respaldar el proceso de toma de decisiones. MAVT ayuda en los procesos participativos como una herramienta útil y además ayuda en la selección de políticas, planes y proyectos [54].

- AHP

El modelo AHP es un método poderoso y flexible que le permite participar de manera activa y racional en el proceso de toma de decisiones. La técnica AHP utiliza cuatro criterios principales: aspectos económicos, técnicos, ambientales y sociales [54]. Este método tiene algunas características notables de que el problema de decisión que estamos resolviendo se modela utilizando una jerarquía con la tarea del problema principal en la parte superior, la meta a lograr y las posibles alternativas en la parte inferior para evaluar [55].

- **Modelo de meta y nivel de preferencia**

Es un método que ayuda a estipular qué opción proporciona una mejor solución en función del valor de cada criterio [50].

Los métodos en esta categoría incluyen técnicas como el “Método de Programación de Compromiso” (TOPSIS) y “Solución de Optimización y Compromiso Multicriterio” (VIKOR) [50].

- TOPSIS

Este método tiene como objetivo determinar la alternativa adecuada en función de la distancia entre las soluciones ideal y anti-ideal. El mayor porcentaje corresponde a la mejor opción. La técnica TOPSIS se utiliza para ordenar las alternativas y seleccionar la mejor de ellas [54], [55].

- VIKOR

Es un método de afrontamiento implementado para resolver un problema de decisión discreta con criterios de decisión y no comparables El método VIKOR tiene en cuenta la cercanía de

una solución ideal para la clasificación un método alternativo. El valor más cercano a 0 corresponde a la mejor solución [55].

- **Modelos de ranking o sobre calificación**

Estos métodos comparan todas las alternativas por pares. Compare qué alternativa es mejor que la otra para cada criterio [50]. Son útiles para clasificar alternativas, entre las que existen muchos criterios y diferencias [52]. Estos métodos incluyen:

- PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation).

Es una técnica de organización y jerarquización por particularidades. Para emplear el modelo Promethee, primero se debe establecer el rendimiento de las opciones para cada uno de los criterios estimados [50], [56]. El enfoque de Promethee permite alternativas no comparables porque no se pueden comparar varias soluciones a un problema de criterios múltiples. Por lo tanto, debe basarse en el criterio de alternativas más eficientes y viceversa [50].

- ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité)

Se basa en el acuerdo y desacuerdo entre alternativas. Le permite priorizar entre alternativas en función de los beneficios. Su finalidad es lograr un ranking que permita comparar cada par de alternativas según los distintos criterios obtenidos, es decir, cuántos criterios apoyan una alternativa dominando a la otra [50], [52].

2.4.3. Selección de la técnica MCDM

La elección de un método requiere analizar qué MCDM puede satisfacer las necesidades del problema propuesto. Se debe establecer un conjunto limitado de criterios para poder evaluar cada alternativa para reflejar la importancia de cada criterio [50]. Los métodos de evaluación multicriterio se utilizan para elegir el mejor lugar para una actividad específica [52]. El método debe garantizar la confiabilidad del resultado final de la alternativa que mejor cumpla con los requerimientos del problema [50].

Los análisis multicriterio MCDM más utilizados con planificación e investigación energética son: AHP, ELECTRE, PROMETHEE [52].

A partir de la descripción de los métodos de clasificación, el método AHP es un candidato ideal para el modelado de problemas que resuelve regiones óptimas de generación de energía. Además, se empleó el método Fuzzy. Utilizando estos métodos se puede ayudar a los tomadores de decisiones con la selección o clasificación de posibles alternativas para evaluaciones de criterios múltiples, además de los criterios a menudo contradictorios [57].

2.4.4. Aplicaciones de técnicas multicriterio

En los últimos años se han elaborado cuantiosos estudios sobre la selección del emplazamiento y la optimización de las instalaciones de generación de energía. La Tabla 5 muestra los estudios en el campo de la energía utilizando métodos multicriterio.

Los mismos que están relacionados a la generación de energía eléctrica mediante energía renovable. Todos los trabajos de investigación revisados son específicamente relevantes para la integración del método AHP, ELECTRE, PROMETHEE, FAHP [58].

Tabla 5. Energías renovables con algunas aplicaciones de MCDM

Métodos	Ubicación	Aplicación	Referencia
FAHP	Ecuador	“Selección de energías renovables en ambientes urbanos aplicando métodos multicriterio y lógica difusa, estudio de caso ciudad de Cuenca”	[28]
FAHP – PROMETHEE	Venezuela	“Metodología integrada multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energía renovable a utilizar para la producción de energía eléctrica”	[56]
ELECTRE- PROMETHEE - AHP	Ecuador	“Aplicación de métodos de optimización para electrificación en zonas rurales de Ecuador”	[58]
AHP	Loja – Ecuador	“Análisis y determinación de las zonas óptimas para la instalación de un proyecto eólico en Ecuador a través de métodos de toma de decisión multicriterio”	[59]
AHP	La Paz – Bolivia	“Decisión multicriterio: aplicación en la selección de alternativas de generación de energía eléctrica, de la economía ambiental a la economía ecológica”	[60]

AHP - ELECTRE - PROMETHEE	Colombia	“Energías renovables: modelos de planificación energética sostenible”	[61]
AHP- PROMETHEE- TOPSIS	Venezuela	“Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad”	[62]
AHP – TOPSIS	República Dominicana	“Utilización de métodos de selección multi-criterio para la integración de energías renovables en el mix energético de República Dominicana”	[55]

3. METODOLOGIA

En el desarrollo del presente capítulo se detallará como primer paso un esquema de la elaboración de la selección de la zona óptima de implementación. En este apartado se presenta a detalle el proceso del método multicriterio AHP.

3.1 Esquema de pasos metodológicos

Para el análisis y propuesta de implementación de colectores cilindro parabólicos para la generación eléctrica en la provincia del Azuay, se empleará el método de elección para la decisión multicriterio, porque es la causa de experimentar o elegir entre dos o más acciones o alternativas para dar solución a un problema. Este proceso de recolección de información ayuda a comprender un suceso, y permite tener buen juicio a la hora de tomar la decisión de implementar colectores cilindro parabólico para la producción de electricidad.

Para lo cual se presenta un modelo operativo de esquema, que detalla las fases de aplicación para la selección optima del lugar de implementación, esto se detalla a continuación en la Figura 3-1.

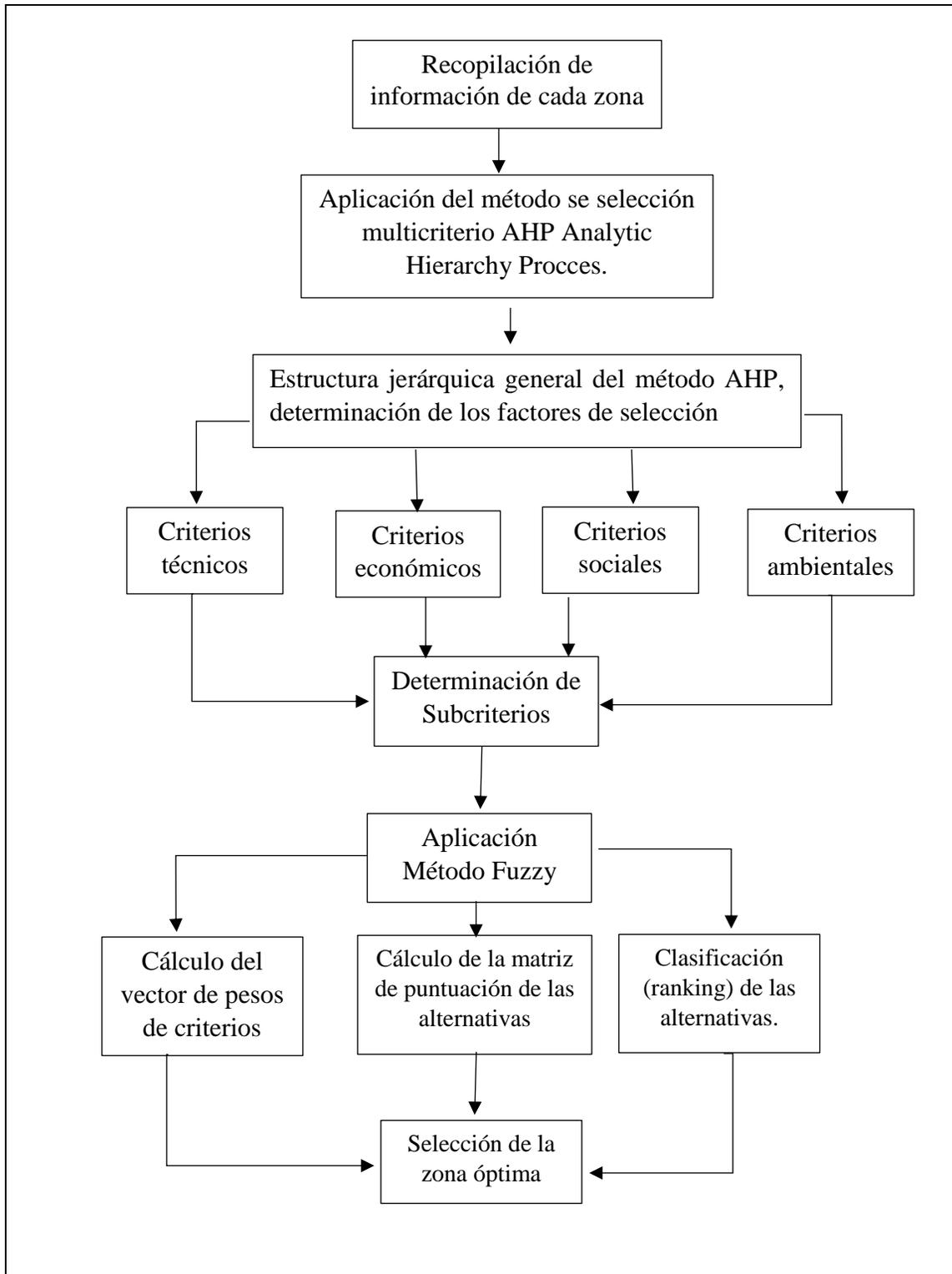


Figura 3-1 Metodología a Seguir

3.1.1 Recopilación de información

El Ecuador está ubicado sobre la línea ecuatorial haciéndolo un país con aprovechamiento en la energía solar, por lo que no tiene variación apreciable en el recurso solar a lo largo del año [10]. El mapa solar ecuatoriano permite el análisis de los niveles de insolación promedio global en el territorio ecuatoriano. El mismo que ayuda a identificar áreas con suficientes recursos de energía solar para la posible implementación de proyectos termosolares.

Para la aplicación del método de selección multicriterio AHP Analytic Hierarchy Procces, se trabajó con el modelo tradicional, debido que este permite estructurar un problema por medio de la estructura del esquema jerárquico. Este esquema contiene niveles que indican el objetivo o meta, los criterios/subcriterios y las alternativas, cuantifica los juicios subjetivos del grupo que toma decisiones. Los encuestados deben ser personal conocedoras del tema para una decisión de forma ágil, en relación a los criterios/ subcriterios planteados en los niveles.

3.1.1.1 Cantón Santa Isabel

El sector “Hacienda Uchucay” (Sulupali) perteneciente al cantón Santa Isabel (-3.340996,-79.342718), con una altitud de 930 m.s.n.m, está localizado en la cuenca del río Jubones, en el límite sur de la provincia del Azuay y Loja con un área de 25.871 m². Posee un clima oceánico, la temperatura máxima promedio por año es de 20,9°C. La radiación directa de la zona es de 1.049,8 kWh/m² al año [63]. Santa Isabel posee un alto nivel de nubosidad, el cielo permanece cubierto con más de sus ¾ partes, los meses de diciembre a abril son los con mayor nubosidad [64] [65].

La subestación eléctrica más cercana a la Hacienda Uchucay” (Sulupali) del cantón Santa Isabel está a una distancia de 12,53 km, la comunidad más cercana es Puente Loma que está a una distancia desde la red vial a 7,3 km, y la distancia más cercana es al río Jubones a una distancia 15 m.

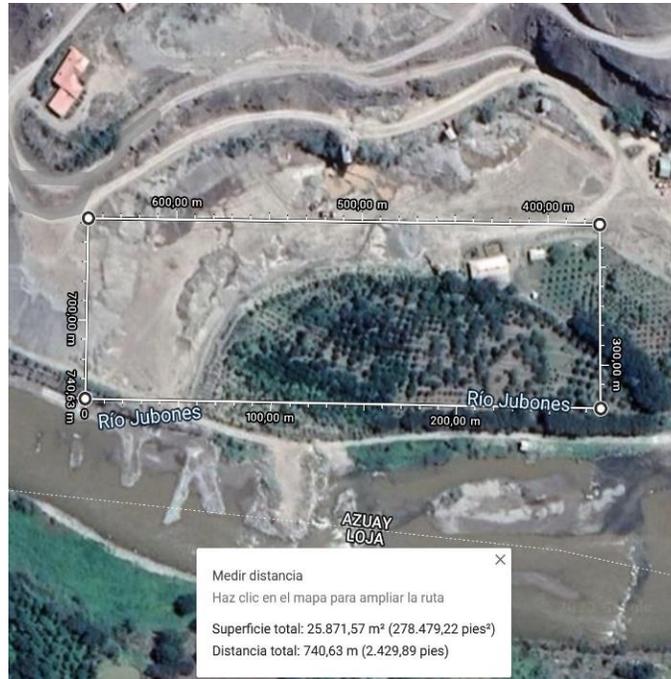


Figura 3-2 Sector Hacienda Uchucay
Fuente: Google Maps

3.1.1.2 Cantón Cuenca

El sector Guanguarcucho está ubicado en la parroquia Nulti perteneciente al cantón Cuenca (-2.841714, -78.883743) con un área de 16.201 m², se encuentra localizado en las cuencas del río Machángara a una altitud de 2.314 m.s.n.m. [63]. Dicho emplazamiento cuenta con un clima oceánico con una temperatura promedio anual de 14,1 °C. la radiación directa de la zona es de 857,4 kWh/m² al año [63]. En Guanguarcucho, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año. En los meses de mayo a octubre existe menos nubosidad y los meses con menor y mayor nubosidad es agosto y febrero respectivamente [66]. El acceso al sector es por medio de la vía panamericana Norte o Autopista Cuenca Azogues y la central eléctrica más cercana es la de El Descanso a una distancia de 1,01 km. La comunidad más cercana es la parroquia Nulti y la distancia al río Paute es de 30 m.

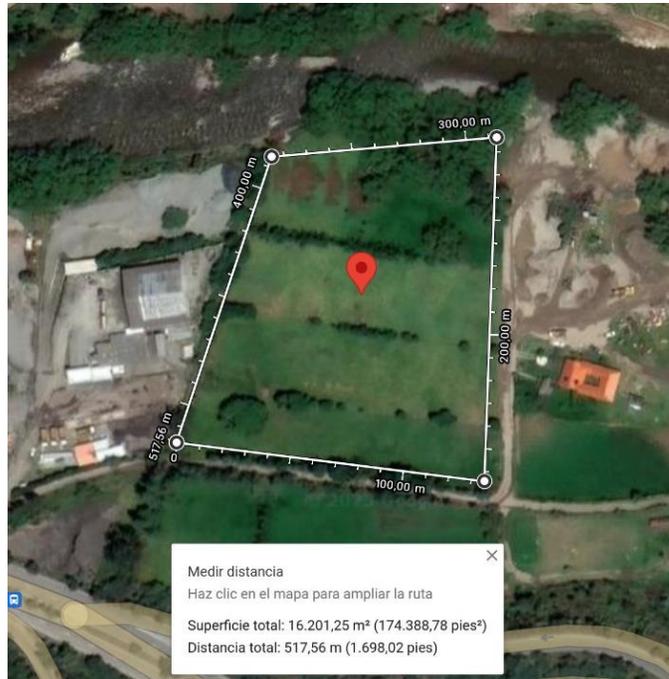


Figura 3-3 Sector Guanguarcucho
Fuente: Google Maps

3.1.1.3 Cantón Gualaceo

En el sector de El Carmen de Bullcay en la localidad Ganalcay perteneciente al cantón Gualaceo (-2.858469, -78.802196). El sector tiene una altitud de 2.226 m.s.n.m y se encuentra ubicado en la cuenca del río Paute, con un área de 27.684 m² [63].

Posee un clima oceánico cuya temperatura anual es de 14,2 °C. La radiación directa de la zona es de 876,8 kWh/m² al año [63]. En Gualaceo, en este lugar la nubosidad varía cuantiosamente durante el año. Gualaceo posee baja nubosidad durante los meses de mayo a octubre. El mes con menor nubosidad en Gualaceo es agosto. La parte más nublada del año comienza en octubre hasta mayo [67].

El acceso al sector es por medio de la vía Cuenca-Gualaceo y se encuentra una red eléctrica a 1,24 km y la comunidad más cercana son las casas aledañas a la zona, la distancia al río es 50 m.

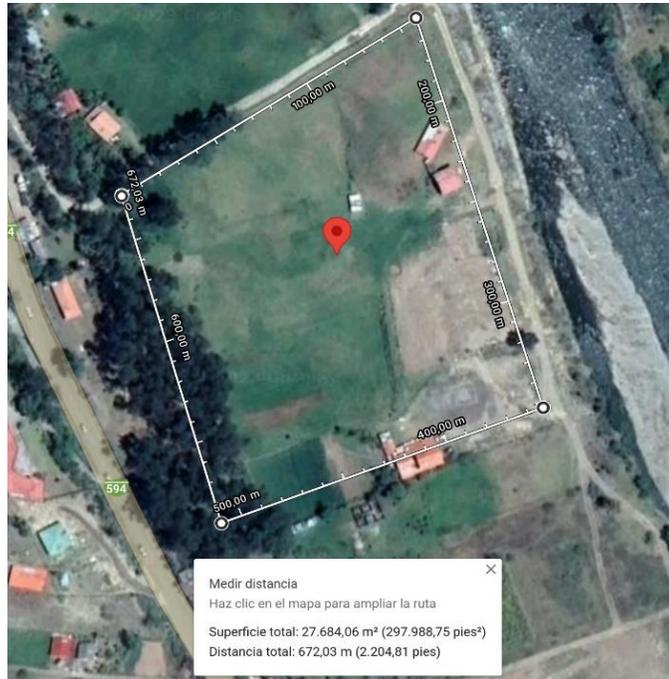


Figura 3-4 Sector El Carmen de Bullcay

Fuente: Google Maps

3.2 Aplicación del método de selección multicriterio AHP Analytic Hierarchy Process.

3.2.1 Diseño del modelo jerárquico

En esta etapa el diseño del modelo jerárquico para la toma de decisiones es la más importante, debido, que este método, indica la estructura de importancia del problema de forma gráfica. Esta etapa, es el desglose del problema presentado y la división de los componentes principales. Los items para realizar la estructura del modelo jerárquico son los siguientes:

(i) definición del objetivo, (ii) identificación de criterios, (iii) identificación de subcriterios y (iv) identificación de alternativas [68].

- **Identificación de criterios:** Para poder identificar los criterios a utilizar se basó en estudios realizados a nivel internacional.
- **Identificación de subcriterios:** Para la identificación de los subcriterios se consideró el criterio de los investigadores, donde se consideró los aspectos y factores relevantes para la implementación de colectores cilindro parabólicos para la producción de electricidad.

- **Identificación de alternativas:** las alternativas se determinaron, tomando en cuenta el criterio del estudiante, y las condiciones necesarias para la implementación de lo propuesto [68].

Tabla 6: Modelo jerárquico

Objetivo	Criterios	Subcriterios	Alternativas	
<div data-bbox="185 806 427 1073" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> CCP para la producción de electricidad </div>	<div data-bbox="521 573 761 653" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Técnico </div>	<div data-bbox="854 495 1094 594" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Disponibilidad de red vial </div>	<div data-bbox="1187 695 1390 842" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Santa Isabel (Sulupali) </div>	
		<div data-bbox="854 615 1094 724" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Disponibilidad de red eléctrica para evacuación </div>		
	<div data-bbox="513 842 753 921" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Económico </div>	<div data-bbox="854 789 1094 884" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Beneficio económico </div>		<div data-bbox="1187 978 1414 1125" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Cuenca (Guanguarcucho) </div>
		<div data-bbox="854 905 1094 1001" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Costo del terreno </div>		
	<div data-bbox="513 1119 753 1199" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Social </div>	<div data-bbox="854 1066 1094 1161" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Aceptación social de la tecnología </div>	<div data-bbox="1187 1220 1390 1346" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Gualaceo (Ganalcay) </div>	
		<div data-bbox="854 1203 1094 1291" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Empleo de trabajadores </div>		
	<div data-bbox="521 1409 761 1488" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> Ambiental </div>	<div data-bbox="854 1356 1094 1442" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Disponibilidad de una fuente de agua </div>		
		<div data-bbox="854 1482 1094 1545" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Impacto visual </div>		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7: Criterios a ser Evaluados

Criterio	Subcriterio	Descripción
Técnico	Disponibilidad de red vial	Accesibilidad de carretera más cercana al lugar
	Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	Es la accesibilidad de fuente eléctrica que posee, hace referencia a la disponibilidad de fuentes eléctricas cercanas.
Económico	Beneficios económicos	Hace referencia al beneficio económico que se obtendrá al generar electricidad mediante la implementación de colectores cilíndricos parabólicos
	Costo del terreno	Es el valor del terreno. Mientras más económico sea el costo del terreno mejor factibilidad de implementación existe.
Ambiental	Disponibilidad de una fuente de agua	Disponibilidad de un lugar que contenga agua, debido que es un recurso necesario para la generación de electricidad.
	Impacto Visual	El impacto visual consiste en el reflejo de la parte estética del medio y su impacto en las personas que viven en el área donde se ubicarán las plantas de colectores cilindro parabólicos.
Social	Aceptación social de la tecnología	Se refiere a las comunidades que se benefician de una nueva tecnología que adopta bajo la aceptabilidad de la misma.
	Empleo de trabajadores	En qué medida se crean puestos de trabajo mediante la introducción de una nueva tecnología, mejor calidad de vida y creación de nuevas empresas.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Cálculo del vector de pesos de criterio

Antes del cálculo de vectores hay que definir las prioridades, es decir la "prioridad" relativa fijada a cada componente, esto se logra mediante la comparación de cada componente o elemento en pares al nivel superior a éste. Para determinar la Tabla de prioridades se estableció el índice de importancia relativa según la escala propuesta por Saaty, como se presenta en la tabla 8:

Tabla 8: Escala de Saaty

Importancia	Definición
1	Los dos criterios tienen igual importancia
3	Es débil la diferencia en la importancia entre los dos criterios
5	La diferencia de importancia de un criterio referente al otro es importante
7	El criterio tiene mayor importancia sobre el otro
9	Un criterio tiene totalmente mayor importancia sobre otro
2,4,6,8	Estos valores son juicios adyacentes, que se eligen cuando se requiere un término medio

Fuente: [62].

Establecidas las prioridades se pasa a definir los criterios acordes al problema identificado.

Este indica cuatro criterios:

- Técnico
- Económico
- Social
- Ambiental.

Los subcriterios de evaluación son:

- Disponibilidad de red vial
- Disponibilidad de red eléctrica para evacuación
- Beneficio económico
- Costo del terreno
- Aceptación social de la tecnología
- Empleo de trabajadores
- Disponibilidad de una fuente de agua
- Impacto visual

Ante lo señalado se determina un total de 8 subcriterios, para esto se recolecto la información presentada en la Tabla 9:

Tabla 9: Datos del problema criterios, subcriterios, alternativas de carácter cuantitativo

ALTERNATIVA	CRITERIOS				
	TECNICO	ECONÒMICO	SOCIAL	AMBIENTAL	
	Disponibilidad de red vial	Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	Costo del terreno	Empleo de trabajadores	Disponibilidad de una fuente de agua
Santa Isabel	7,3 km	12,53K	5 dólares el m ²	si	15 m
Cuenca	4,3 km	1,01 km	80 dólares el m ²	si	30 m
Gualaceo	1 km	1,24 km	90 dólares el m ²	si	50 m

Las calificaciones cualitativas se transformarán en valores discretos utilizando números difusos triangulares, una escala de calificación definida y la técnica de fusificación propuesta por Facchinetti (2002), que permite calcular el valor más probable del número difuso [69].

Los juicios del decisor determinaran la valorización del criterio en particular, según se presenta en la Tabla 10 en la misma se también el valor posible entre las valorizaciones.

Tabla 10: Valoración de criterios cualitativos

Valoración emitida por el decisor	Numero triangular definido	Valor más probable
Muy bajo	(0,1,2)	1
Bajo	(2,3,4)	3
Medio	(4,5,6)	5
Alto	(6,7,8)	7
Muy Alto	(8,9,10)	9

Fuente: [69]

Para calcular el peso de cada criterio, el método AHP sugiere empezar con la formación de una matriz de comparación. Esta matriz está conformada de números reales en el que “m” indica el número de criterios del problema. En este caso como el problema tiene 8 subcriterios se construye una matriz de comparación variada de 8x8, donde la diagonal principal en la que se plasma la importancia de un subcriterio contra sí mismo se completa con 1, dado que tienen la misma importancia, es decir no se puede comparar los criterios entre sí mismos, mientras que para el resto de juicios hay que tener en cuenta que existe una relación recíproca.

Tabla 11: Ejemplo de Matriz de comparación de criterios

	T1	T2	E1	E2	S1	S2	A1	A2
Subcriterios	Disponibilidad de red vial	Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	Beneficio económico	Costo del terreno	Aceptación social de la tecnología	Empleo de trabajadores	Disponibilidad de una fuente de agua	Impacto visual
Disponibilidad de red vial	1	1	1/5	1/3	2	1	1	1
Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	1	1	1/5	1/3	2	1	1	1
Beneficio económico	5	5	1	3	2	2	3	2
Costo del terreno	3	3	1/3	1	1	2	4	4
Aceptación social de la Tecnología	1/2	1/2	1/2	1	1	1/3	1	3
Empleo de trabajadores	1	1	1/2	1/2	3	1	2	3
Disponibilidad de una fuente de agua	1	1	1/3	1/4	1	1/2	1	3
Impacto visual	1	1	1/2	1/4	1/3	1/3	1/3	1
TOTAL	13,5	13,50	3,566	6,6667	12,33	8,166	13,333	18.0

Fuente: Encuestado.

3.2.3 Cálculo de la matriz de puntuación de las alternativas

Una vez llena la matriz de comparación de criterios con las respectivas calificaciones, se procede a normalizar la matriz donde se divide el valor asignado al subcriterio por parte del encuestado para la sumatoria TOTAL de los valores asignados al mismo, para mejor entendimiento se presenta a continuación lo siguiente en la Tabla 12:

Tabla 12: Matriz de puntuación de alternativa normalizada

Subcriterios	Disponibilidad de red vial	Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	Beneficio económico	Costo del terreno	Aceptación social de la tecnología	Empleo de trabajadores	Disponibilidad de una fuente de agua	Impacto visual	PONDERACIÓN
Disponibilidad de red vial	0,07	0,07	0,06	0,05	0,16	0,12	0,08	0,06	0,08
Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	0,07	0,07	0,06	0,05	0,16	0,12	0,08	0,06	0,08
Beneficio económico	0,37	0,37	0,28	0,45	0,16	0,24	0,23	0,11	0,28
Costo del terreno	0,22	0,22	0,09	0,15	0,08	0,24	0,3	0,22	0,19
Aceptación social de la Tecnología	0,04	0,04	0,14	0,15	0,08	0,04	0,08	0,17	0,09
Empleo de trabajadores	0,07	0,07	0,14	0,08	0,24	0,12	0,15	0,17	0,13
Disponibilidad de una fuente de agua	0,07	0,07	0,09	0,04	0,08	0,06	0,08	0,17	0,08
Impacto visual	0,07	0,07	0,14	0,04	0,03	0,04	0,03	0,06	0,06

Fuente: Encuestado.

Para conocer si el criterio utilizado por parte de los encuestados para la valoración fue el correcto, se determina el valor de relación de consistencia donde se calcula de la forma indicada en la Tabla 13:

Tabla 13: Relación de consistencia

a*p	
0,7415	
0,7415	
2,5001	
1,7073	
0,8093	
1,1490	
0,7246	
0,5145	
8,888178	
(CI) Índice de consistencia = $(n_{max}-n)/(n-1)$	0,1268
(RI) Consistencia Aleatoria = $1,98*(n-2)/n$	1,485
Relación de consistencia= CI/RI	0.0854

La relación de consistencia en el problema es de 0.0854428, es decir la valoración de criterios ha sido razonable debido que es menor a 1.

A continuación, se va a comparar cada alternativa de implementación con cada subcriterio, para lo cual se valora tomando en cuenta la metodología fuzzy, en este caso como el problema tiene 8 subcriterios se construye una matriz de comparación variada de 3x3, donde la diagonal principal en la que se plasma la importancia de un subcriterio contra sí mismo se completa con 1, dado que tienen la misma importancia, es decir no se puede comparar los criterios entre sí mismos, mientras que para el resto de juicios hay que tener en cuenta que existe una relación recíproca.

Tabla 14: Matriz de comparación de alternativas de disponibilidad de red vial

	Matriz de comparación de alternativas				Matriz normalizada				Promedio disponibilidad de red vial
	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	SUMATORIA	
Disponibilidad de red vial	Santa Isabel	1	2	2	0,50	0,50	0,50	1,50	0,500
	Cuenca	1/2	1	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,250
	Gualaceo	1/2	1	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,250
	TOTAL	2	4	4	1	1	1	3	

Fuente: Encuestado.

Tabla 15: Matriz de comparación de alternativas de disponibilidad de red eléctrica

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Promedio Disponibilidad de red eléctrica para evacuación
Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	2	2	0,50	0,50	0,50	1,50	0,500
	Cuenca	1/2	1	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,250
	Gualaceo	1/2	1	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,250
	TOTAL	2	4	4	1,00	1,00	1,00	3,00	

Fuente: Encuestado.

Tabla 16: Matriz de comparación de alternativas de Beneficio Económico

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Promedio Beneficio económico
Beneficio económico	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	Santa Isabel	El descanso	Cuenca	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	4	4	0,67	0,67	0,67	2,00	0,667
	Cuenca	1/4	1	1	0,17	0,17	0,17	0,50	0,167
	Gualaceo	1/4	1	1	0,17	0,17	0,17	0,50	0,167
	TOTAL	1,5	6	6	1	1,00	1,00	3,00	

Fuente: Encuestado.

Tabla 17: Matriz comparación de alternativas de costo del terreno

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Promedio disponibilidad de Costo del terreno
Costo del terreno	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	7	7	0,78	0,78	0,78	2,33	0,778
	Cuenca	1/7	1	1	0,11	0,11	0,11	0,33	0,111
	Gualaceo	1/7	1	1	0,11	0,11	0,11	0,33	0,111
	TOTAL	1,285714286	9	9	1,00	1,00	1,00	3,000	

Fuente: Encuestado.

Tabla 18: Matriz de comparación de alternativas de aceptación social de la tecnología

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Promedio disponibilidad de Aceptación social de la tecnología
Aceptación social de la tecnología	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Guala ceo	Santa Isabel	Cuenca	Guala ceo	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	2	2	0,50	0,50	0,50	1,50	0,500
	Cuenca	1/2	1	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,250
	Gualaceo	1/2	1	1	0,25	0,25	0,25	0,75	0,250
	TOTAL	2.0	2	4	1,00	1,00	1,00	3,00	

Fuente: Encuestado.

Tabla 19: Matriz de comparación de alternativas de empleo de trabajadores

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Promedio disponibilidad de Empleo de trabajadores
Empleo de trabajadores	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Guala ceo	Santa Isabel	Cuenca	Guala ceo	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	1	1	0,33	0,33	0,33	1,000	0,500
	Cuenca	1	1	1	0,33	0,33	0,33	1,000	0,250
	Gualaceo	1	1	1	0,33	0,33	0,33	1,000	0,250
	TOTAL	3.0	3	3	1	1	1	3	

Fuente: Encuestado.

Tabla 20: Matriz de comparación de alternativas de disponibilidad de una fuente de agua

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Disponibilidad de una fuente de agua
Disponibilidad de una fuente de agua	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Guala ceo	Santa Isabel	Cuenca	Guala ceo	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	1	2	0,33	0,33	0,33	1,00	0,333
	Cuenca	1	1	2	0,33	0,33	0,33	1,00	0,333
	Gualaceo	1	1	1	0,33	0,33	0,33	1,00	0,333
	TOTAL	2	3	3	1,00	1,00	1,00	3,00	

Fuente: Encuestado.

Tabla 21: Matriz de comparación alternativas de Impacto visual

Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada				Promedio de Impacto visual
Impacto visual	ALTERNATIVA	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	Santa Isabel	Cuenca	Gualaceo	SUMATORIA	
	Santa Isabel	1	0,333		0,14	0,14	0,14		
	Cuenca	3	1		0,43	0,43	0,43	0,43	0,143
	Gualaceo	3	1	1	0,43	0,43	0,43	1,29	0,429
	TOTAL	2.50	7	2	1,00	1,00	1,00	3	

Fuente: Encuestado.

4. SELECCIÓN DE ZONA ÓPTIMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA PROVINCIA DEL AZUAY

Dentro de este estudio se entregó 11 encuestas de las cuales se obtuvo respuesta de 10 expertos en energías renovables y conocedores del tema energético (ver anexo). Mediante la utilización del método AHP se procede a construir las matrices requeridas, una en cada criterio. En cada matriz, las alternativas se comparan entre sí de acuerdo con los criterios pertinentes. Completar las matrices, calcular los pesos relativos y calcular el coeficiente de desajuste son similares al paso anterior.

Para encontrar la alternativa más adecuada de acuerdo con un criterio dado, multiplique cada componente de pesos de eigenvector de criterios por el peso de eigenvector correspondiente de cada matriz alternativa y organícelos en orden descendente. Utilizando este nuevo vector (cuyos componentes son el conjunto de cada alternativa) se obtiene la jerarquía solicitada.

Tabla 22: Selección de zona óptima

SUBCRITERIOS ALTERNATIVAS	Disponibilidad de red vial	Disponibilidad de red eléctrica	Costo de implementación	Costo del terreno	Aceptación social de la tecnología	Empleo de trabajadores	Disponibilidad de agua	Impacto Visual	PRIORIZACIÓN	%
Santa Isabel	0,50	0,50	0,67	0,78	0,50	0,50	0,33	0,14	0,56	56,4%
Cuenca	0,25	0,25	0,17	0,11	0,25	0,25	0,33	0,43	0,22	21,8%
Gualaceo	0,25	0,25	0,17	0,11	0,25	0,25	0,33	0,43	0,22	21,8%
TOTAL PONDERACIÓN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100%
N	0.20	0.13	0.18	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08		

Fuente: Encuestado.

4.1 Análisis de resultado

La encuesta tiene un tiempo estimado de 45 minutos. Uno de los principales inconvenientes fue el tiempo que disponían los expertos para la resolución de la encuesta por lo que el experto respondía entre dos o tres semanas. Otro problema es la distribución de pesos ya que algunas encuestas no se enfocaban en el área específica sino en general de Santa Isabel, Descanso o Gualaceo.

Otra dificultad es carecer de especialistas sobre el tema y el tiempo que le toma a cada experto evaluar sobre las alternativas y criterios planteados por lo que no se obtiene la consistencia deseada.

La toma de decisiones existe en la vida cotidiana y, en algunos casos, es compleja y requiere un análisis más profundo. Este análisis permite tener en cuenta aspectos tradicionalmente devaluados, como la participación social o la protección del medio ambiente, cuando se habla de la implementación de nuevos proyectos.

Se obtuvo respuesta de 10 expertos en energías renovables y conocedores del tema energético, los mismos que se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23: Perfiles expertos

NOMBRE ENCUESTADO	RESULTADOS EN PORCENTAJES		
	SANTA ISABEL	EL DESCANSO	GUALACEO
A.P.	52,7	27,6	19,7
F.Q.	52	32	16
J.C.	68	24	8
J.R.	61	26	13
J..A.	32	35	33
M.C.	68	24	8
N.G.	40	22	38
X.S.	56,4	21,8	21,8
A.B.	52,2	30,3	17,5
F.C.	28,2	25,7	46,1

La encuesta estaba dividida en tres partes

- La primera parte incluye la interpretación del estudio para priorizar indicadores para la implantación de colectores cilindro parabólicos.
- La segunda parte se realiza una comparación en la matriz de comparación de criterios, entre los indicadores, por ejemplo, Entre el indicador "Disponibilidad de red vial" y el indicador "disponibilidad de red eléctrica “¿Que indicador es más importante y cuanto más importante en una escala del 1 al 9? Donde el experto deberá marcar el valor según su criterio.
- La tercera y última parte contiene las matrices definidas para evaluar los pesos de los criterios.

En la Tabla 24 se muestran los resultados de las encuestas resueltas por los expertos.

Tabla 24: Perfiles expertos

ID	RESULTADOS EN PORCENTAJES		
	SANTA ISABEL	EL DESCANSO	GUALACEO
A.P	52,7	27,6	19,7
F.Q	52	32	16
J.C	68	24	8
J.R	61	26	13
J.A	32	35	33
M.C	68	24	8
N.G	40	22	38
X.S	56,4	21,8	21,8
E.B	52,2	30,3	17,5
F.C	28,2	25,7	46,1
TOTAL	51,05	26,84	22,11

El enfoque de toma de decisiones multicriterio (MCDA) es adecuado para problemas de planificación energética. En este estudio después de realizar el análisis AHP se pudo concluir que la mejor opción para la implementación de CCP para la producción de electricidad, es Santa Isabel. Este cuenta con un 51,05% como se indica en a Tabla 24, ya que con este método se pueden caracterizar situaciones en grupos para tomar decisiones en base a varios criterios. Se pueden reconocer los factores principales que afectan el proceso. Esta descripción fue fundamental para el análisis y clasificación de la información alcanzada en la revisión bibliográfica sobre la selección de métodos multicriterio y finalmente el listado de criterios propuesto en el trabajo de investigación.

Hay que tener en cuenta que la radiación directa de la zona de Santa Isabel es de 1.049,8 kWh/m² al año y la radiación directa mínima para esta tecnología es de 1.700 kWh/m². Por tanto, para la implantación de este centro en la zona de Santa Isabel se requieren subvenciones públicas.

La metodología es aplicable a las zonas donde la radiación directa sea mayor o igual a la anterior para el correcto funcionamiento e implementación del CCP.

5. CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo de investigación es identificar sitios para la colocación de colectores cilíndricos parabólicos en la provincia del Azuay, empleando técnicas multicriterio, que son métodos que ayudan a realizar una correcta elección entre diversas opciones, el uso de un enfoque multicriterio se debe a la complejidad de un conjunto de alternativas cuando se evalúa frente a un conjunto de criterios, para esto fue fundamental el conocimiento de todos los métodos de decisión multicriterio y la principal contribución de esta investigación es la aplicación del método AHP en la proyección energética de la provincia del Azuay.

Mediante la investigación se pudo determinar que las técnicas multicriterio permiten solucionar problemas en la planificación energética de una provincia. Estas técnicas permiten tener una sostenibilidad según los recursos existentes en la zona.

Los valores asignados a los pesos en las encuestas realizadas a los expertos son confiables ya que las asignaciones en las 10 encuestas están dentro del margen de error según el índice de consistencia utilizado en el método AHP.

El estudio muestra la valoración de 8 subcriterios y 3 alternativas para la colocación de colectores cilíndricos parabólicos en la provincia del Azuay. Donde se determinó que Santa Isabel tiene una zona con el 51,05 %, seguida de El Descanso con el 26,84 % y en tercer lugar Gualaceo con el 22,11%, al revisar los datos obtenidos por la técnica multicriterio, se determina que hay mayor acogida hacia Santa Isabel como la zona más óptima para la colocación de colectores cilíndricos parabólicos en la provincia del Azuay.

REFERENCIAS

- [1] J. Calle-Siguencia and Ó. Tinoco-Gómez, “Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental Obtaining of SHW with solar energy in the canton cuenca and analysis of environmental pollution,” *Ingenius*, no. 19, pp. 1–6, 2018, [Online]. Available: <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/19.2018.09>.
- [2] (EurObserv´ER), “Solar thermal and concentrated solar power barometers,” *EurObserv´ER*, vol. 0, European Union, 2017.
- [3] R. A. Rasih, N. A. C. Sidik, and S. Samion, “Recent progress on concentrating direct absorption solar collector using nanofluids: A review,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 137, no. 3, pp. 903–922, 2019, doi: 10.1007/s10973-018-7964-6.
- [4] J. Herzorg Gallardo, “Análisis del calentamiento regenerativo del agua de alimentación en plantas solares termoeléctricas,” 2020, [Online]. Available: [https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20695/Analisis del calentamiento regenerativo del agua de alimentacion en plantas solares termoelectricas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20695/Analisis%20del%20calentamiento%20regenerativo%20del%20agua%20de%20alimentacion%20en%20plantas%20solares%20termoelectricas.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [5] V. Hari Haran and P. Venkataramaiah, “Mathematical modelling and analysis of parabolic collector,” *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 3308–3312, 2021, doi:

10.1016/j.matpr.2020.11.465.

- [6] O. Houghton Villoldo, “Instalación solar térmica experimental de colectores cilindro parabólico,” p. 27, 2016, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2117/89541>.
- [7] W. F. Mogrovejo León and J. C. Sarmiento Vintimilla, “Análisis de factibilidad técnica y económica en la implementación de energía fotovoltaica y termo solar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivien,” Universidad de Cuenca, 2011.
- [8] J. Plaza Castillo, C. Daza Mafiolis, E. Coral Escobar, A. Garcia Barrientos, and R. Villafuerte Segura, “Design, Construction and Implementation of a Low Cost Solar-Wind Hybrid Energy System,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 10, pp. 3304–3309, 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7387235.
- [9] X. Serrano-Guerrero, D. Alvarez-Lozano, and S. F. L. Romero, “Influence of local climate on the tilt and orientation angles in fixed flat surfaces to maximize the capture of solar irradiation: A case study in Cuenca-Ecuador,” *2019 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2019*, no. Ropec, 2019, doi: 10.1109/ROPEC48299.2019.9057102.
- [10] D. Vaca-Revelo and F. Ordóñez, “Mapa solar del Ecuador 2019,” *Scinergy*, 2019, [Online]. Available: https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf.
- [11] G. J. Delgado Orellana and M. L. Orellana Samaniego, “Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón cuenca mediante la aplicación del modelo bristow & campbell,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [12] B. Barajas and V. Moreno, “Termosolar Para La Generación De Energía Eléctrica,” *Univ. Autónoma Coahuila*, pp. 1250–1251, 2012, [Online]. Available: http://dspace.aeipro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/1232/CIIP12_1247_1259.pdf?sequence=1.
- [13] A. Barragán and J. Terrados, “Sustainable cities: An analysis of the contribution

- made by renewable energy under the umbrella of urban metabolism,” *Int. J. Sustain. Dev. Plan.*, vol. 12, no. 3, pp. 416–424, 2017, doi: 10.2495/SDP-V12-N3-416-424.
- [14] A. Barragán-Escandón, J. Terrados-Cepeda, E. Zalamea-León, and P. Arias-Reyes, “Electricity production using renewable resources in urban centres,” *Proc. Inst. Civ. Eng. Energy*, vol. 171, no. 1, pp. 12–25, 2018, doi: 10.1680/jener.17.00003.
- [15] S. Jáuregui Vizcay, “Implementación de una estrategia de apunte de heliostatos de una planta solar de torre,” Universidad Publica de Navarra, 2021.
- [16] Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables, “Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2019,” *Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables*, 2019.
- [17] W. Leones, “Estudio Tecnológico, Viabilidad Energética y Económico para la Generación Eléctrica Sostenible a través de la Energía Solar, con Aporte al Medio Ambiente,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 6, no. 1, pp. 95–105, 2010, doi: 10.37116/revistaenergia.v6.n1.2010.234.
- [18] C. A. Bravo Inostroza, “Optimización de parámetros de diseño de una planta solar de concentración para generación eléctrica considerando distintos escenarios de despacho,” Universidad de Chile, 2018.
- [19] I. Lillo-Bravo, E. Pérez-Aparicio, N. Sancho-Caparrini, and M. A. Silva-Pérez, “Benefits of medium temperature solar concentration technologies as thermal energy source of industrial processes in Spain,” *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11112950.
- [20] J. D. Esquivel Baduy and J. C. Tixe Enríquez, “Diseño de una guía metodológica para implementación de centrales termo solares con fines de generación eléctrica en el Ecuador,” Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [21] H. M. Castro Chamorro, “Análisis técnico y financiero de plantas de concentración solar con tecnología de cilindro parabolico en las islas Galápagos,” Escuela Politécnica Nacional, 2020.
- [22] M. J. Simon Castellano, “Estudio de la eficiencia óptica de reflectores secundarios

- lineales Fresnel,” Universidad Carlos III de Madrid, 2019.
- [23] S. Gulino, J. Rodas, and R. Gregor, “Linear fresnel concentrator: A review of its implementation in South American Countries,” *2020 IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Exhib. - Lat. Am. T D LA 2020*, 2020, doi: 10.1109/TDLA47668.2020.9326201.
- [24] J. Villaviciencio Pazmiño, “Control de un sistema de energía de temperatura media con concentradores cilindro parabólicos con fines didácticos,” Universidad del Azuay, 2015.
- [25] W. Macancela and E. Regalado, “Análisis técnico de una central solar para la producción de energía eléctrica en el cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay,” Universidad Politécnica Salesiana, 2012.
- [26] M. Sandoval, “Introducción de la energía solar térmica para reemplazar el uso de combustibles fósiles en procesos industriales en Chile,” Universidad de Chile, 2021.
- [27] F. Jácome, D. Vaca, R. Rojas, R. Soria, and F. Ordóñez, “Desarrollo de un colector de concentración solar de Fresnel para calor de procesos en Ecuador,” *I Congr. Int. Energías Renov. y Efic. Energética 1019 - Memorias*, no. December, pp. 51–66, 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/337771579_Desarrollo_de_un_colector_de_concentracion_solar_de_Fresnel_para_calor_de_procesos_en_Ecuador.
- [28] E. Orellana Bustamante, “Determinación de áreas con potencial para la instalación de plantas de energía termoeléctrica solar . Caso de estudio : III Región de Atacama .,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009.
- [29] X. Xu, K. Vignarooban, B. Xu, K. Hsu, and A. M. Kannan, “Prospects and problems of concentrating solar power technologies for power generation in the desert regions,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1106–1131, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.09.015.
- [30] K. Vignarooban, X. Xu, A. Arvay, K. Hsu, and A. M. Kannan, “Heat transfer fluids for concentrating solar power systems - A review,” *Appl. Energy*, vol. 146, pp. 383–

396, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.125.

- [31] E. Batuecas, “Análisis del comportamiento medioambiental de aceros y fluidos de transferencia de calor implicados en centrales termosolares con tecnología cilindro-parabólica y almacenamiento térmico,” Universidad Complutense de Madrid, 2018.
- [32] M. Liu *et al.*, “Review on concentrating solar power plants and new developments in high temperature thermal energy storage technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1411–1432, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.09.026.
- [33] M. T. Islam, N. Huda, A. B. Abdullah, and R. Saidur, “A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, no. April, pp. 987–1018, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.097.
- [34] A. Malan and K. Ravi Kumar, “A comprehensive review on optical analysis of parabolic trough solar collector,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 46, no. November 2020, p. 101305, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101305.
- [35] F. La Camera, *Renewable Power Generation Costs in 2019*, Irena. Irena, 2020.
- [36] P. M. Rodríguez, “Estudio y revisión crítica de diseño de la planta solar termoeléctrica Solnova 1,” Universidad Politécnica de Madrid, 2016.
- [37] J. A. Roca, “Las 10 plantas termosolares más grandes del mundo: EEUU y España se reparten el 90% del pastel,” *El periodico de la energía*, 2016.
<https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-plantas-termsolares-mas-grandes-del-mundo-eeuu-y-espana-se-reparten-el-90-del-pastel/> (accessed Jul. 09, 2021).
- [38] IRENA, “Solar energy,” *IRENA*, 2021. <https://www.irena.org/solar> (accessed Sep. 29, 2021).
- [39] TECPA, “La planta solar térmica más grande del mundo,” *TECPA*, 2021.
<https://www.tecpa.es/central-energia-termsolar-mas-grande/> (accessed Jul. 27, 2021).
- [40] Abengoa, “Abengoa servicios,” *Abengoa*, 2021.

- [41] TECPA, “Las plantas termosolares en España 2021,” *TECPA*, 2021. <https://www.tecpa.es/planta-termosolar-mas-grande/> (accessed Jul. 27, 2021).
- [42] J. M. Muñoz, “Las megaplantas solares llegan a Granada,” *El independiente de granada*, 2021. <https://www.elindependientedegranada.es/economia/megaplantas-solares-llegan-granada> (accessed Jul. 28, 2021).
- [43] NREL, “Concentrating Solar Power Projects,” *NREL Transforming energy*, 2021. <https://solarpaces.nrel.gov/project/solnova-3> (accessed Jul. 20, 2021).
- [44] Helios, “Concentrated Solar Power (CSP) in Brazil,” *HeliosCSP*, 2020. <https://helioscsp.com/concentrated-solar-power-csp-in-brazil/>.
- [45] G. Metropolitana, “Proyecto CEME1,” *Generadora Metropolitana*, 2021. <https://generadora.cl/maria-elena/>.
- [46] K. Mohammadi and H. Khorasanizadeh, “The potential and deployment viability of concentrated solar power (CSP) in Iran,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 24, no. April, pp. 358–369, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.04.008.
- [47] A. Bohorquez Colombo, “La Energía Solar Térmica,” *Centro de Innovación Energética*, 2018. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-energía-solar-térmica-¡Deja-que-entre-el-sol!-Un-recurso-renovable-para-los-procesos-industriales.pdf>.
- [48] O. Sigüencia, L. Pires, and R. Sempértégui, “Metodologías de decisión multicriterio para planeación energética en zonas rurales del Ecuador,” *Maskana*, 2017, [Online]. Available: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1988>.
- [49] E. M. Barzallo Coronel and P. E. Chasijuan Moreno, “Selección de energías renovables en ambientes urbanos aplicando métodos multicriterio y lógica difusa, estudio de caso ciudad de Cuenca,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [50] E. M. Cazorla Martínez, “Evaluación de emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas, a través de la aplicación de índices de calidad para la determinación de límites máximos permisibles,” Universidad Internacionl SEK, 2020.

- [51] A. Grajales, E. Serrano, and C. Hahn, “Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación,” *Luna Azul*, vol. 36, no. 40, pp. 5–24, 2013, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a14.pdf>.
- [52] E. S. Morocho-Domínguez and W. G. Morocho-Chicaiza, “Determinación de sectores de ideales para la implementación de generación eólica en el área urbana de la ciudad de Cuenca utilizando técnicas multicriterio,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [53] J. O. Trejo Escandon, “Colaboración en el mejoramiento de modelos de planeación del sector energético para considerar las fuentes de energías renovables,” Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, 2011.
- [54] F. L. Aguilar Aguilar, “Metodología para la planificación jerárquica del suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas mediante el uso de energías renovables,” Universidad de los Andes, 2018.
- [55] C. N. Sánchez, Mateo, “Utilización de métodos de selección multicriterio, para la integración de Energías Renovables en el Mix Energético de República Dominicana,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2018.
- [56] C. Yajure, “Metodología integrada multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energía renovable a utilizar para la producción de energía eléctrica,” *Rev. Tecnológica ESPOL*, vol. 28, no. 2, pp. 62–78, 2015, [Online]. Available: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/375>.
- [57] G. Fernandez, “Los métodos PROMETHEE: una metodología de ayuda a la toma de decisiones multicriterio discretas,” *Ser. Monográfica. Rev. Rect*, p. 17, 2002, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:LOS+M?TODOS+PROMETHEE+:+Una+Metodolog?a+de+Ayuda+a+la+Toma+de+Decisiones+Multicriterio+Discretas#1>.
- [58] O. M. Sigüencia Sigüenza, “Aplicación de métodos de optimización para electrificación en zonas rurales de Ecuador,” Instituto Politécnico de Ieiria, 2017.

- [59] F. Vaca Aldas, “Análisis y determinación de las zonas óptimas para la instalación de un proyecto eólico en Ecuador a través de métodos de toma de decisión multicriterio,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2018.
- [60] S. Morales-Maldonado, “Decisión multicriterio: aplicación en la selección de alternativas de generación de energía eléctrica, de la economía ambiental a la economía ecológica,” Universidad Mayor de San Andrés, 2018.
- [61] J. M. Jurdo-Medina, “Energías renovables: modelos de planificación energética sostenible,” Universidad de Jaén, 2015.
- [62] C. Yajure and Y. Arlenis, “Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad,” *Scintia Tech.*, vol. 22, no. 3, pp. 273–281, 2017, doi: <https://doi.org/10.22517/23447214.11591>.
- [63] PVsyst, “PVsyst Photovoltaic software.” English, 2021, [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>.
- [64] C. S. Zhunio Ordoñez, “Recomendaciones bioclimáticas para el diseño arquitectónico de vivienda unifamiliar en el clima ecuatorial mesotérmico seco, ubicado en el cantón santa Isabel, provincia del Azuay,” Universidad Católica de Cuenca, 2016.
- [65] Cuandovisitar, “Mejor época para viajar, tiempo y clima Santa Isabel,” *CuandoVisitar*, 2021. <https://www.cuandovisitar.com.ec/ecuador/santa-isabel-1190559/> (accessed Nov. 24, 2021).
- [66] Cedar Lake Ventures Inc, “El clima y el tiempo promedio en todo el año en Llacao y Nulti,” *weatherspark*, 2021. <https://es.weatherspark.com/y/20013/Clima-promedio-en-Llacao-Ecuador-durante-todo-el-año#Sections-Clouds> (accessed Nov. 22, 2021).
- [67] Cedar Lake Ventures Inc, “El clima y el tiempo promedio en todo el año en Gualaceo,” *weatherspark*, 2021. <https://es.weatherspark.com/y/20015/Clima-promedio-en-Gualaceo-Ecuador-durante-todo-el-año#Sections-Topography> (accessed Nov. 22, 2021).

- [68] S. a Berumen and F. Llamazares, “La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente,” *Cuad. Adm.*, vol. 20, no. 34, pp. 65–87, 2007, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v20n34/v20n34a04.pdf>.
- [69] S. L. Ávila Rojas and J. C. Osoio Gómez, “Modelo de programación multi-objetivo fuzzy para la selección de proveedores,” *Rev. EIA*, pp. 163–174, 2018, doi: 10.24050/reia.v0i0.571.

ANEXO 1

Encuesta 1

	T1	T2	E1	E2	S1	S2	A1	A2
	Disponibilidad de red vial	Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	Beneficio económico	Costo del terreno	Aceptación social de la Tecnología	Generación de empleo	Disponibilidad de una fuente de agua	Impacto visual
Disponibilidad de red vial	1	-	-	-	-	-	-	-
Disponibilidad de red eléctrica para evacuación	#¡VALOR!	1	-	-	-	-	-	-
Beneficio económico	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1	-	-	-	-	-
Costo del terreno	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1	-	-	-	-
Aceptación social de la Tecnología	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1	-	-	-
Generación de empleo	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1	-	-
Disponibilidad de una fuente de agua	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1	-
Impacto visual	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1
TOTAL	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?	#¡VALOR!	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?

ANEXO 2

Encuesta 2

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Disponibilidad de red vial	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#_VALOR!	1	-
	Gualaceo	#_VALOR!	#_VALOR!	1
TOTAL		#_VALOR!	#_NOMBRE?	#_NOMBRE?

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Disponibilidad de red electrica para evacuación	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#_VALOR!	1	-
	Gualaceo	#_VALOR!	#_VALOR!	1
TOTAL		#_VALOR!	#_VALOR!	1

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Beneficio economico	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#_VALOR!	1	-
	Gualaceo	#_VALOR!	#_VALOR!	1
TOTAL		#_VALOR!	#_VALOR!	1

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Costo del terreno	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#_VALOR!	1	-
	Gualaceo	#_VALOR!	#_VALOR!	1
TOTAL		#_VALOR!	#_VALOR!	1

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Aceptacion social de la tecnologia	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#¡VALOR!	1	-
	Gualaceo	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1
TOTAL		#¡VALOR!	#¡VALOR!	1

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Generación de Empleo	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#¡VALOR!	1	-
	Gualaceo	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1
TOTAL		#¡VALOR!	#¡VALOR!	1

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Disponibilidad de una fuente de agua	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#¡VALOR!	1	-
	Gualaceo	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1
TOTAL		#¡VALOR!	#¡VALOR!	1

MATRIZ COMPARACION DE ALTERNATIVA				
Impacto visual	ALTERNATIVA	Santa Isabel	El Descanso	Gualaceo
	Santa Isabel	1	-	-
	El Descanso	#¡VALOR!	1	-
	Gualaceo	#¡VALOR!	#¡VALOR!	1
TOTAL		#¡VALOR!	#¡VALOR!	1