UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

Ingeniera Ambiental

Trabajo experimental:

ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA USO EN CIUDADES INTERMEDIAS, UTILIZANDO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD, CASO DE ESTUDIO, CUENCA-ECUADOR

AUTORA:

María Daniela Abad Ordóñez

TUTOR:

Ing. Antonio Barragán Escandón, MSEP.

Cuenca - Ecuador

Octubre del 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo María Daniela Abad Ordóñez, con documento de identidad N° 0105765507, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: "ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA USO EN CIUDADES INTERMEDIAS, UTILIZANDO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD, CASO DE ESTUDIO, CUENCA-ECUADOR", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Daniela Abad

María Daniela Abad Ordóñez

CI: 0105765507

CERTIFICACIÓN

Yo Antonio Barragán Escandón, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA USO EN CIUDADES INTERMEDIAS, UTILIZANDO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD, CASO DE ESTUDIO, CUENCA-ECUADOR" realizado por María Daniela Abad Ordóñez, obteniendo un trabajo experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Octubre del 2017

Antonio Barragán Escandón, MSC

Tutor de tesis

RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo María Daniela Abad Ordóñez con número de cédula 0105765507 autora del trabajo de titulación "ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA USO EN CIUDADES INTERMEDIAS, UTILIZANDO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD, CASO DE ESTUDIO, CUENCA-ECUADOR" certifico que el total contenido de este trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, Octubre del 2017

Daniela Abad

María Daniela Abad Ordóñez
C.I. 0105765507

DEDICATORIA

El presente trabajo representa una gran satisfacción para mí, debido a que significa la culminación de una etapa de mi vida logrando alcanzar la meta que me propuse. Con mucho cariño quiero dedicar a mi familia: a mis padres Galo y María Elena por ser el pilar fundamental para ser la persona que hoy soy.

También de manera muy especial quiero dedicarle a mi hermana Isabel por su apoyo incondicional y por siempre estar presente, recordarle que somos capaces de todo solo si de verdad lo anhelamos, gracias por ser mi mejor amiga, mi persona favorita.

A mi hermano Sebastián, por cada uno de sus consejos que me ayudaron a no rendirme y creer en mí. A mis sobrinos Sebastián Francisco y Pedro José, el pequeño motor que mueve mi vida. A mi cuñada Paulina por ser una gran amiga y consejera.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por haberme brindado la sabiduría necesaria para superar cada obstáculo y lograr llegar a cumplir mis objetivos. También quiero agradecer a mis padres, por todo el apoyo incondicional que me brindaron recordándome por lo que estoy luchando y por no dejarme rendir.

Quiero agradecer de manera especial a mi mejor amigo Alex, por brindarme su apoyo creyendo en mí siempre, dándome ánimos para lograr el día de hoy convertir en realidad mis sueños y por compartir momentos inolvidables.

Y mis más sinceros agradecimientos a mi tutor de tesis el Ing. Antonio Barragán Escandón. Por su paciencia y por guiarme en el trabajo para lograr que se cumpla el principal objetivo.

RESUMEN

La necesidad de contar con recursos energéticos que permitan cubrir la demanda de una población en continuo crecimiento ha incrementado los problemas en las ciudades debido a la falta de planificación energética.

El objetivo del trabajo propuesto es conocer la mejor alternativa de energía renovable aplicable a la zona urbana de Cuenca, integrando aspectos sociales, ambientales, técnicos y económicos, por medio de la metodología de la técnica multicriterio AHP (Proceso Analítico Jerárquico). Las técnicas multicriterio permiten elegir las alternativas más adecuadas a partir de la valoración de múltiples criterios en sectores complejos como en el caso del sector energético.

Los resultados nos indican que la energía renovable más atractiva para la ciudad de Cuenca es la energía obtenida por medio de la pequeña hidroeléctrica debido a las condiciones que presenta el área de estudio. Seguida por la energía fotovoltaica y en tercer lugar se encuentra la energía obtenida por medio del biogás proveniente de los desechos sólidos urbanos.

La posibilidad de combinar las tres principales tecnologías obtenidas, brinda una estrategia que permite equilibrar los criterios seleccionados desde el enfoque de sostenibilidad para la ciudad de Cuenca. Además la mezcla de estas ER podría garantizar la eficiencia energética destinada a la zona urbana de la ciudad.

CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....II

CERTIFICACIÓN III

RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA.....IV

DEDICATORIA.....V

AGRADECIMIENTOS VI

RESUMEN VII

LISTADO DE ILUSTRACIONES XI

LISTADO DE TABLAS.....XII

LISTADO DE ECUACIONES XIII

1. Introducción.....1

1.1. Problemática 1

1.2. Delimitación.....4

1.2.1. Demografía.....4

1.2.2. Economía.....5

1.2.3. Aspectos Ambientales 6

1.3. Objetivos 10

1.3.1. Objetivo general.....10

1.3.2. Objetivos específicos.....10

1.4. Justificación 11

2. Fundamentación Teórica 13

2.1. Energía renovable y la planificación energética 13

2.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible 15

2.2.1. Energía asequible y no contaminante 18

2.2.2. Industria, innovación e infraestructura 20

2.2.3. Ciudades y comunidades sostenibles 21

2.3. Ciudades intermedias y la energía renovable 24

2.3.1. Cuenca como ciudad intermedia 29

2.4. Técnicas de Decisión Multicriterio 30

2.4.1. AHP 34

2.4.2. ELECTRE 35

2.4.3. PROMETHEE 36

2.5. Elección de la técnica MCDA 37

2.5.1. Proceso Analítico Jerárquico 41

3. Aplicación AHP 46

3.1. Definición del problema 46

3.2. Selección de alternativas 49

3.3. Selección de criterios 51

3.4. Elaboración de matriz de decisión 53

3.5. Asignación de pesos. 55

3.6. Desarrollo de la priorización 57

3.7. Toma de decisiones 63

4. Resultado y discusión 65

5. Conclusiones 76

Bibliografía 78

Anexos 89

Encuesta aplicada a expertos 89

Matriz de priorización para sub – criterio 100

1. Criterios técnicos 100

2. Criterios económicos 101

3. Criterios ambientales 102

4. Criterios socio – políticos 103

5. Valoración global de criterios 104

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Porcentaje de demanda total de energía por fuente 2
Ilustración 2 Producción de energía eléctrica 2000-2016 por fuentes renovables 3
Ilustración 3 Producción de energía eléctrica 2000-2016 por fuentes no renovables ... 3
Ilustración 4 Porcentaje de consumo de energía per-cápita en Cuenca 9
Ilustración 5 Objetivos de Desarrollo Sostenible 17
Ilustración 6 Porcentaje de población con acceso a la electricidad, 2000-2012 19
Ilustración 7 Propuestas planteadas por el objetivo 7 20
Ilustración 8 Propuestas planteadas por el objetivo 9. 21
Ilustración 9 Porcentaje de población urbana en barrios marginales 2000-2014 22
Ilustración 10 Propuestas planteadas por el objetivo 11. 23
Ilustración 11 Opciones de adaptación de las ER en las ciudades 29
Ilustración 12 Clasificación del Método ELECTRE 36
Ilustración 13 Proceso de toma de decisiones del método PROMETHEE. 37
Ilustración 14 Diagrama de flujo de la metodología AHP 44
Ilustración 15 Esquema Jerárquico a emplearse en el estudio 48
Ilustración 16 Importancia para cada alternativa de acuerdo al uso final: Calor 70
Ilustración 17 Importancia por cada alternativa de acuerdo al uso final: Electricidad 71
Ilustración 18 Porcentaje de priorización global de sub - criterios 72
Ilustración 19 Porcentaje de priorización global de criterios 74

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Métodos MCDA por tipo de problema..... 32

Tabla 2 Ejemplos de estudios realizados con MCDA..... 33

Tabla 3 Ventajas y desventajas de los MCDA..... 38

Tabla 4 Ejemplos de Aplicación de la Técnica Multicriterio AHP..... 40

Tabla 5 Escala de preferencia planteada por Saaty..... 43

Tabla 6 Descripción de las alternativas seleccionadas..... 50

Tabla 7 Descripción de los criterios seleccionados..... 52

Tabla 8 Matriz de decisión para criterio: eficiencia..... 54

Tabla 9 Perfil de expertos..... 56

Tabla 10 Determinación de nomenclatura para criterios..... 58

Tabla 11 Determinación de nomenclatura para alternativas..... 58

Tabla 12 Juicios obtenidos por promedio sobre el sub - criterio "eficiencia"..... 59

Tabla 13 Sumatoria por columnas..... 59

Tabla 14 Matriz Normalizada..... 60

Tabla 15 Vector de prioridades del sub - criterio eficiencia..... 60

Tabla 16 Vectores de prioridades obtenidos a partir de cada sub – criterio..... 61

Tabla 17 Vector de prioridad de sub – criterios..... 62

Tabla 18 Priorización global de alternativas..... 62

Tabla 19 Valoración global de importancia de sub – criterios..... 63

Tabla 20 Valoración global de importancia de alternativas..... 64

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de la razón de consistencia..... 45

Ecuación 2 Cálculo del índice de consistencia..... 45

Ecuación 3 Cálculo del índice de consistencia aleatorio 45

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Problemática

La necesidad de recursos energéticos en el mundo ha aumentado ampliamente debido al crecimiento de la población, al desarrollo industrial y al uso del transporte. En los últimos años el consumo de energía se elevó considerablemente a nivel mundial. La población creció de 3700 millones en 1971 a 7318 millones actualmente (United States Census Bureau, 2017) y se espera que se incremente hasta 9100 millones en el año 2050 según la ONU (United Nations., 2015).

Los niveles de emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes en América Latina están por debajo de la cantidad emitida a nivel mundial, sin embargo es susceptible a daños que se derivan del cambio climático causado por emisiones globales. La situación local no se ha escapado de esta tendencia, pues la población en el Ecuador aumentó de 6’248831 en 1971 a 16’560348 en la actualidad. La Asamblea Nacional del Ecuador, en su Constitución de 2008 establece el “buen vivir”; y se destaca el derecho a un “hábitat seguro y saludable, además establece que es de interés público la preservación del ambiente, y promueve un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado” (Baquero & Quesada, 2016).

En el Ecuador el 84% de la demanda de energía total dentro del país depende principalmente de fuentes fósiles. En primer lugar se encuentra el diésel con un 31% de demanda energética seguido por la gasolina con un porcentaje del 23%. La energía eléctrica

se encuentra ubicada en el tercer lugar con un porcentaje de apenas el 13% como se puede observar en la Ilustración 1 (CONELEC, 2014).

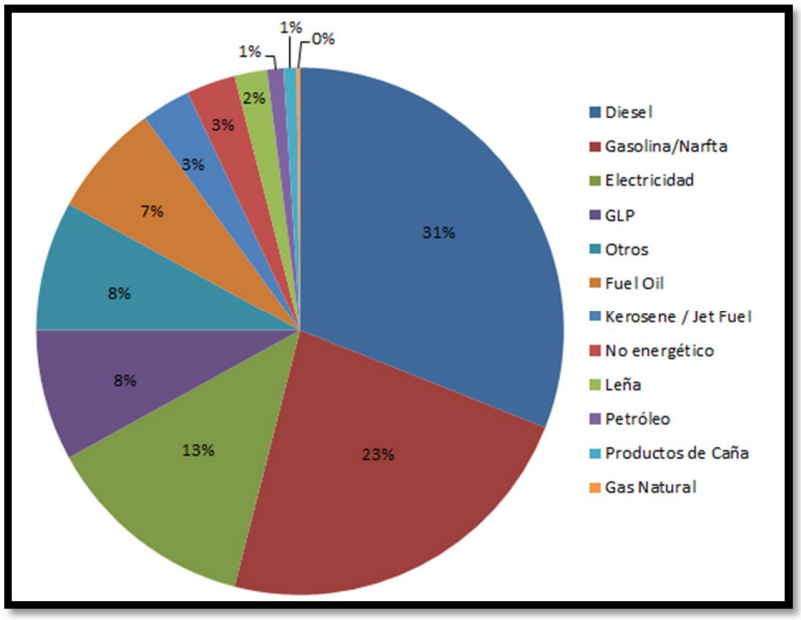
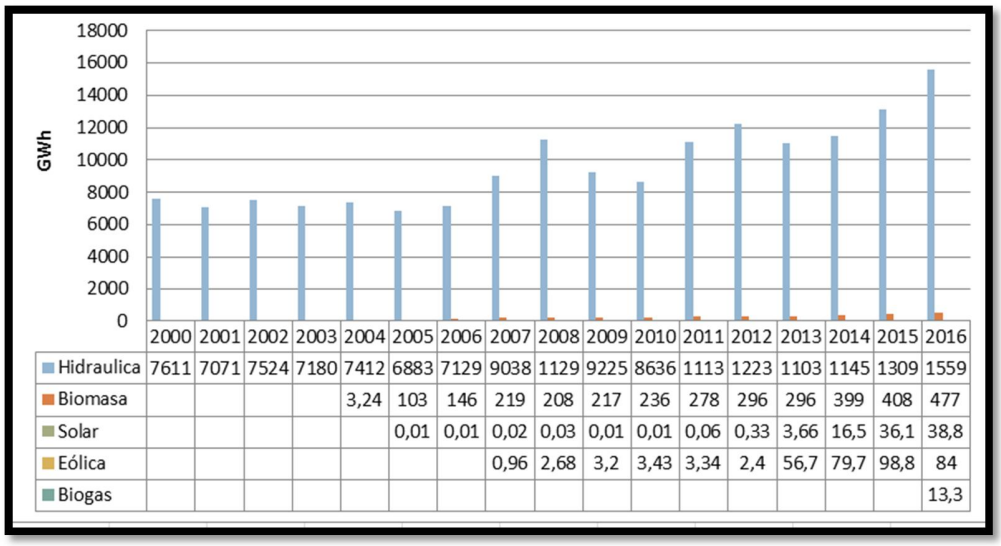


Ilustración 1 Porcentaje de demanda total de energía por fuente
Fuente (INEC, 2014). Elaboración propia

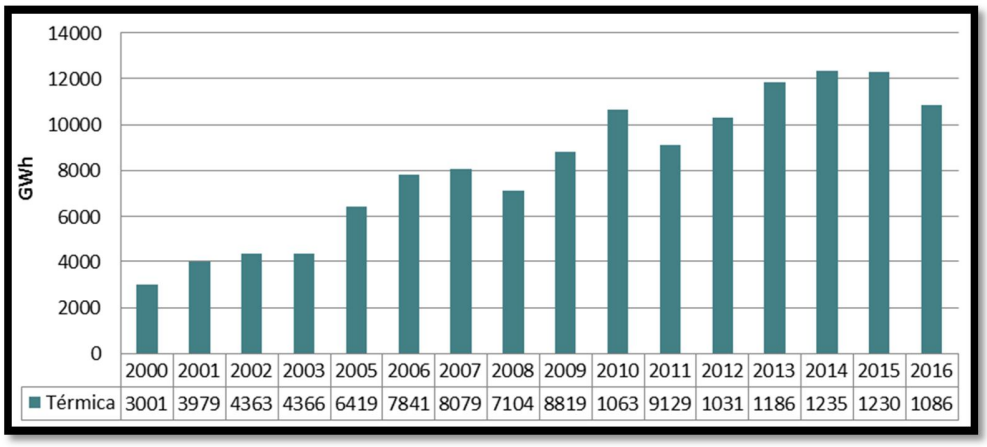
El País está atravesando un periodo de transición por un cambio en la matriz energética. Actualmente, el 49.5% de la generación eléctrica es por medio de grandes hidroeléctricas, mientras que el 46.5% sigue resultando de fuentes fósiles como la energía térmica (CONELEC, 2015). El costo de producción de las energías renovables no convencionales ha disminuido con el paso del tiempo de la misma manera que su desarrollo tecnológico se ha ido consolidando. Sin embargo existen varias limitaciones para que estás energías cumplan un papel importante frente a las energías no renovables como las hidroeléctricas a gran escala o la energía proveniente de fuentes termoeléctricas (Barragán & Espinoza, 2015).

En la Ilustración 2, se muestra la producción de energía eléctrica a partir de recursos renovables desde el año 2000 hasta el año 2016. Se aprecia que la mayor fuente es la energía hidroeléctrica a gran escala. La Ilustración 3 indica la disminución de producción de energía eléctrica para el año 2016 por medio de fuentes térmicas. (INEC, 2017).



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Hidraulica	7611	7071	7524	7180	7412	6883	7129	9038	1129	9225	8636	1113	1223	1103	1145	1309	1559
Biomasa					3,24	103	146	219	208	217	236	278	296	296	399	408	477
Solar						0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,06	0,33	3,66	16,5	36,1	38,8
Eólica								0,96	2,68	3,2	3,43	3,34	2,4	56,7	79,7	98,8	84
Biogas																	13,3

Ilustración 2 Producción de energía eléctrica 2000-2016 por fuentes renovables
Fuente: (ARCONEL, 2016). Elaboración propia



	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Térmica	3001	3979	4363	4366	6419	7841	8079	7104	8819	1063	9129	1031	1186	1235	1230	1086

Ilustración 3 Producción de energía eléctrica 2000-2016 por fuentes no renovables.
Fuente: (ARCONEL, 2016). Elaboración propia

1.2. Delimitación

En la región Sierra se encuentra la provincia del Azuay, que tiene como capital a la ciudad de Cuenca ubicada a una altitud de 2530 msnm. Las coordenadas geográficas de la ciudad son 2°52'-2°54' latitud Sur y 78°59'-79°01' longitud Oeste Greenwich. La temperatura varía entre 10.1 y 21.6 °C. El valor promedio de la humedad relativa varía entre 40 y 85%, las horas del brillo del sol tienen porcentaje que van del 33 al 45%, con una nubosidad promedio mensual que varía entre 6 y 7 octavas (gran cantidad de nubes). La radiación solar es de alrededor de 4.35 kWh/m^2/día. La dirección predominante de los vientos es Noreste y la velocidad promedio del viento es de 9.29 km /h, (Baquero, 2013).

1.2.1. Demografía

De acuerdo al censo poblacional, realizado en el año 2010, Cuenca es la tercera ciudad más poblada del país con 505585 habitantes. Según el censo del 2010, tiene una casa de crecimiento anual promedio del 2.12%. El 35% de la población cuencana está ubicada en la zona rural y el 65% pertenece a la zona urbana. Las parroquias rurales menos pobladas del cantón son Chaucha, Checa y Victoria del Portete, mientras que las más pobladas son El Valle, Baños y Ricaurte (Jaramillo, 2017).

El cantón Cuenca cuenta con una densidad poblacional de 163 hab/km², aunque en la zona urbana es de 4567 hab/km² (Bermeo, 2013). Las parroquias como El Valle, Sidcay, Turi, Ricaurte y Sinincay también tienen una alta densidad poblacional bruta debido al alto crecimiento urbano. Las otras parroquias rurales poseen una población dispersa como consecuencia de la poca accesibilidad a bienes, servicios básicos y públicos (Jaramillo, 2017).

Sim embargo, si se compara Cuenca con otras ciudades de América Latina, se puede decir que cuenta con una densidad poblacional baja debido a la falta de normativa que restrinja y controle el uso del suelo urbano por lo que encarece los precios de los bienes provocando que sean poco accesibles teniendo como resultado un crecimiento disperso y baja densificación en las zonas rurales (BID, 2014).

La población más representativa está entre las edades de 10 a 30 años, indicando que la población de Cuenca es mayoritariamente joven. La PEA de la ciudad de Cuenca de la zona urbana es el centro económico del cantón, mientras que la zona rural cuenta con un PEA bajo debido a que esta zona realiza actividades generalmente agrícolas que no son remuneradas (Jaramillo, 2017).

1.2.2. Economía

La economía en Cuenca se puede clasificar en tres sectores: i) primario: relacionado con todas las actividades de explotación de recursos, ii) secundario: son las actividades vinculadas con la transformación de materias primas, conocido también como sector industrial, y iii) terciario: conocido como sector de servicio y comercio, representando las actividades de prestación de servicios y distribución de bienes (Jaramillo, 2017).

El sector primario está sujeto especialmente a la producción ganadera y agrícola, contando con un 33.67% de territorio cantonal. La gran parte de producción son hortalizas destinadas al autoconsumo. La actividad ganadera está fundamentada en la crianza de animales como: las aves de corral, cuyes, ovejas, ganado bovino y cerdos. La producción de cuyes es una de las más importantes destinada al mercado interno. El sector secundario está regido por la industria manufacturera, la misma que tiene la mayor influencia económica dentro del cantón debido a su gran volumen de ventas. Finalmente el sector terciario cuenta

con el mayor porcentaje de PEA dedicada especialmente al comercio por mayor y menor (GAD Municipal de Cuenca, 2015).

1.2.3. Aspectos Ambientales

1.2.3.1. Clima

El cantón Cuenca tiene presente seis climas: clima ecuatorial mesotérmico semihumedo, ecuatorial de alta montaña, tropical megatérmico semihumedo, tropical megatérmico húmedo, nival y tropical megatérmico seco. Según la cartografía del Ministerio del Ambiente, el clima que prevalece con un porcentaje del 52% es el ecuatorial mesotermico semihumedo y el clima de alta montaña con un porcentaje de 34,4%. El primero está caracterizado por tener temperaturas que varían entre 18 a 22 °C y con una precipitación promedio de 500 mm anuales. El segundo clima se ubica principalmente sobre los 3000 m de altitud, con una temperatura de 8 °C y con una precipitación media anual entre 1000 a 2000 mm dependiendo de la altitud (Jaramillo, 2017).

1.2.3.2. Uso y cobertura del suelo

La clasificación del suelo según el MAE, especifica que en el cantón Cuenca el 60% de áreas son naturales. Según la última actualización del PDOT en Cuenca, la intervención del hombre en el páramo y sobre áreas elevadas se ha ido incrementando. La cobertura de la vegetación arbustiva ha disminuido en un 22%, así como de las reservas de agua un 20%, mientras que las zonas intervenidas y agropecuarias han crecido con un porcentaje del 23% (GAD Municipal de Cuenca, 2015).

1.2.3.3. Agua

En el Ecuador, el agua es gestionada por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). La gestión de las cuencas hidrográficas está bajo el cargo de esta autoridad, además le corresponde al gobierno regional el manejo sustentable e integrado de los recursos hídricos por lo que es necesaria una coordinación entre los gobiernos municipales para poder controlar el uso y la ocupación del suelo además de la planificación y gestión de riesgos. En el caso de Cuenca, la entidad encargada del agua potable es la empresa pública: Empresa Pública de Teléfonos, Agua Potables y Alcantarillado (ETAPA EP). La ciudad de cuenca esta abastecida de agua por medio de los ríos Tomebamba, Machángara y Yanuncay (Malo, 2014).

En el cantón de Cuenca se han registrado 22 subcuencas hidrográficas, exponiendo la gran cantidad de este recurso dentro del cantón (Bermeo, 2013). A nivel nacional, la ciudad cuenta con la mayor cobertura de alcantarillado, el 84.47% de la población del cantón tiene alcantarillado y un 96.1% tiene agua potable (Malo, 2014). Parroquias rurales como El Valle, Checa, Baños, Turi y Ricaurte superan el 75% de cobertura con red pública debido a su aproximación con la zona urbana al contario de las parroquias como Molleturo, Victoria del Portete y Quingeo que por su lejanía con la ciudad cuentan con un servicio inferior al 50%. Sin embargo según los informes de ETAPA para el año 2014 la cobertura de agua potable en la zona rural alcanzó un 89.5% y en la zona urbana un porcentaje del 97.7% (Jaramillo, 2017).

Actualmente, ETAPA EP cuenta con 3 plantas de tratamiento para agua potable Soldados (río Yanuncay), El Cebollar (río Tomebamba), Tixán (río Machángara). También

se encarga del tratamiento del 88% de las aguas residuales de la ciudad mediante la planta de tratamiento de aguas residuales (Ucubamba) (Malo, 2014).

1.2.3.4. Energía

La empresa eléctrica Regional Centro Sur (CENTROSUR) es la proveedora de la energía eléctrica para el cantón Cuenca, su fuente está dada por centrales termoeléctricas e hidroeléctricas. El consumo promedio mensual por vivienda de la zona rural es de 166 kWh mientras que de la zona urbana es de 288 kWh. Cuenca consume altos niveles de energía eléctrica distribuida en diferentes sectores. Los grandes consumidores de energía eléctrica son los sectores industriales, comerciales y otros (universidades y hospitales). Además en la ciudad los combustibles líquidos también son muy usados entre los cuales se encuentran: fueloil, diésel 2, diésel Premium, gasolina extra, gasolina súper. Los tres últimos son destinados especialmente para el transporte y los dos primeros para el sector industrial. El diésel Premium tiene una tasa de crecimiento anual mayor respecto a los otros tipos de combustibles líquidos. Cuando se habla de combustible gaseoso, dentro de Cuenca se consume principalmente Gas Licuado de Petróleo (GLP) destinado para los sectores comerciales, industriales y residenciales y el Gas Natural (GN) utilizado principalmente para uso industrial (Jaramillo, 2017).

En Cuenca, ha crecido el consumo de energía per-cápita un 9.13%. Este elevado consumo está afectado principalmente por el sector del transporte en donde se concentra un 63% de energía total consumida como se muestra en la Ilustración 4 (Jaramillo, 2017).

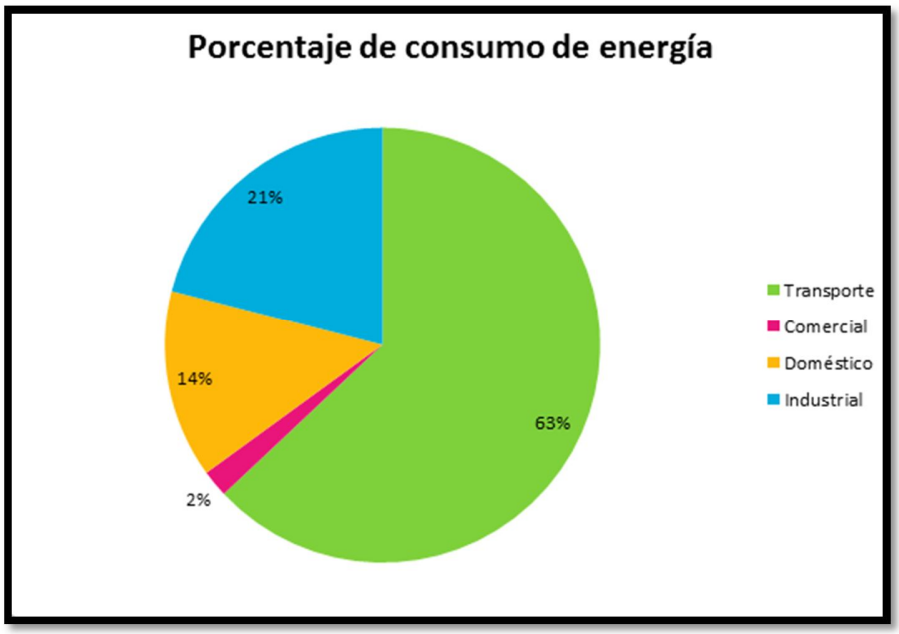


Ilustración 4 Porcentaje de consumo de energía per-cápita en Cuenca
Fuente: (Jaramillo, 2017). Elaboración propia

1.2.3.5. Calidad del Aire

En el año 2007, según el inventario emitido por CUENCAAIRE, se emitieron 62672 toneladas de contaminantes a la atmósfera. Los contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxidos de carbono, compuestos orgánicos volátiles, material particulado (PM10) y dióxido de azufre (Jaramillo, 2017).

El área urbana de Cuenca es una de las zonas con mayor riesgo de contaminación debido a su limitada topografía y las características de las fuentes de emisión. Sin embargo parroquias rurales como: San Joaquín, Turi, Molleturo, Chaucha y Sayausí también se ven gravemente afectadas por este problema (GAD Municipal de Cuenca, 2015).

1.2.3.6. Residuos sólidos

Actualmente la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) es la encargada del aseo público prestando servicios como; barrido, la recolección, la limpieza,

transporte y disposición final de los desechos sólidos así como también de los desechos generados en la construcción. El cantón de Cuenca recoge sus residuos por medio de vehículos recolectores. El servicio es brindado a la zona rural en un porcentaje del 66.67% mientras que en la zona urbana se elimina en un porcentaje de 98.8%. La EMAC EP recoge alrededor de 394 toneladas por día de residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario Pichachay. En este relleno se aprovechan los residuos compactados en un porcentaje de alrededor de 86.7% para producir biogás. Por otro lado, un porcentaje del 12.41% de residuos sólidos son destinados al reciclaje y tan solo un porcentaje del 1.93% recibe un tratamiento para el compostaje (Jaramillo, 2017).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Seleccionar las tecnologías de energía renovable más adecuadas para su utilización en el área urbana de la ciudad de Cuenca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte relacionado con el método MCDA apropiado para las decisiones referentes a las tecnologías de la energía renovable.
- Analizar el estado del arte propuesto para determinar las variables multicriterio.
- Realizar un Análisis Multicriterio que permita seleccionar las tecnologías de energía renovable más idóneas para la implementación en la ciudad de Cuenca.
- Elaborar una discusión con los resultados obtenidos, en comparativa con estudios realizados en ciudades intermedias.

1.4. Justificación

El cambio de políticas energéticas, implica la implementación de sustitutos de energía tradicional, por ejemplo, utilizando energías renovables. Esto se vislumbra como un cambio de paradigma, que permitirá que la generación y transporte de energía reduzcan sus efectos adversos, sin comprometer el estilo de vida de las poblaciones, el desarrollo industrial o el desarrollo económico de las ciudades (Barragán & Terrados, 2017).

El uso de energía renovable genera grandes beneficios en términos de protección ambiental y de ahorro de recursos. Su uso mejora el rendimiento energético, conversión y conservación de energía, proporcionando soluciones a un sinnúmero de problemas ambientales (Cavallaro, 2010).

Las energías renovables, pueden considerarse fuentes inagotables que permitirían reducir la escases energética en un futuro, pero, la decisión de la opción de reemplazo idónea, debe ser estudiada en cada ciudad dónde se busque su implementación, dadas las características individuales de cada caso (Cajot et al., 2017).

Con el fin de establecer la opción energética más apropiada para determinada ciudad, se requiere herramientas que ayuden a la selección más adecuada. El criterio tradicional de toma de decisiones está basado en criterios únicos destinados a identificar la opción que menor costo genera, lo que conduce no necesariamente a tomar la decisión más adecuada. La toma de decisiones que incluyan otras dimensiones de análisis, entre ellas, criterios ambientales, está enfocada en la creación de políticas y planes de implementación de energía renovable (Barragán & Terrados, 2017).

La complejidad de la planificación energética hace que el análisis multicriterio sea trascendental, ya que examina más de un objetivo para alcanzar las metas de

implementación de energía renovable óptimas en términos de eficiencia y eficacia (Lecanda, 2015).

El desarrollo tecnológico en la actualidad permite que se aprovechen los recursos energéticos que dispone la ciudad. Barragán & Terrados (2017), proponen que 11 tecnologías renovables pueden ser utilizadas en las ciudades. En el caso de Cuenca la falta de información o estudios previos impiden identificar que tecnología es la más adecuada para su promoción. Por ello el presente trabajo pretende determinar las tecnologías que podrían implementarse en la ciudad específicamente en la zona urbana. Se utiliza una metodología multicriterio, que a pesar que no requiere información excesiva ha sido útil para otros campos en donde se requiere tomar decisiones.

Según lo establecido por García Gómez (2010), los trabajos de investigación deben ser científicamente útiles, es por esta razón que el presente trabajo puede justificarse en primer lugar, desde el punto de vista de la aportación de conocimientos sobre la aplicación de las técnicas multicriterio y en segundo lugar genera criterios de selección energética que permiten a la ciudad la independencia energética con el uso de energías renovables, usando recursos propios de la zona en lugar de las energías fósiles.

Capítulo 2

2. Fundamentación Teórica

2.1. Energía renovable y la planificación energética

La energía y combustibles fósiles son usados a nivel mundial por millones de personas, ciudades e industrias y su consumo está arraigado a la vida diaria de las poblaciones que la utilizan para hacer uso en diversas actividades. Por otra parte, las poblaciones urbanas, que representan el 50% de la población mundial, requieren la energía para mantener su calidad de vida, movilizar la industria, por ello se considera que es un componente indispensable para la sociedad actual (Bhowmik, Bhowmik, Ray, & Pandey, 2017).

El uso excesivo de combustibles fósiles y de energía son los causantes de la emisión del 70% al 80% de gases de efecto invernadero provocando un deterioro de la vida dentro de diferentes ecosistemas, obteniendo como resultado un impacto desfavorable en la calidad de vida de las ciudades y en la salud pública (Barragán & Terrados, 2017).

El uso y abuso de la energía con un enfoque tradicional causa también daños desfavorables relacionados con el encarecimiento causado por la escasez y el acceso que se tiene a la misma. Las consecuencias debido al abastecimiento energético en las ciudades es un gran inconveniente, porque debe ser tomado en cuenta en los diferentes niveles de la sociedad (Cajot et al., 2017). Considerando lo anterior se advierte la necesidad de un cambio en la ejecución de políticas públicas relacionadas con la implementación de los enfoques de sostenibilidad en las ciudades (Puccio & Bizzarri, 2015).

El sector energético forma parte del sistema socio – económico debido a que es un servicio básico necesario para la vida diaria y fundamental para el crecimiento y el progreso económico. Por lo que se han establecido varias políticas energéticas y procesos de planificación asegurando el suministro por medio de condiciones óptimas de calidad, seguridad y precio. A más de aspectos técnicos y económicos, es necesario dirigir el sistema energético hacia la sostenibilidad a través de estrategias que permitan fomentar la diversidad energética, sobre todo optando por las energías renovables (Barles, 2009).

Como consecuencia del desarrollo energético se obtuvieron las ciudades: edificios, sistemas de transporte, procesos industriales y otros (Ngo & Pataki, 2015). Alrededor del 50% de la población mundial vive en zonas urbanas consumiendo más de dos tercios de la energía primaria. El crecimiento poblacional está ligado a diferentes problemas relacionados a la afección ambiental sin embargo, también representa una oportunidad para el desarrollo individual y colectivo (Barragán & Terrados, 2017).

Actualmente los problemas ambientales requieren una modificación en la manera en la que se conciben las ciudades (Agudelo-vera, Leduc, Mels, & Rijnaarts, 2012). Por lo que es importante que se considere una planificación organizada y la implementación de políticas públicas, obteniendo cambios importantes en los beneficios que brinda la sostenibilidad. Para considerar una correcta planificación de infraestructura urbana es necesario contar con una gestión eficiente de materiales y de energía. Para la reformación de políticas se requiere modificar el comportamiento de la dinámica del consumidor, del mercado y de las fuerzas políticas siendo este el objetivo planteado a largo plazo (Barragán & Terrados, 2017).

Bajo este concepto se espera que la planificación urbana se someta a diferentes adaptaciones para hacer frente a los retos urbanos relacionados con los problemas de sostenibilidad actuales (Zanon & Verones, 2013).

Estudios recientes demuestran que las formas urbanas adecuadas influyen positivamente en la producción y demanda de energía permitiendo también un control sobre la expansión urbana, promoviendo los distritos de uso mixto y mejorando la exposición solar de las grandes infraestructuras (Ratti, Baker, & Steemers, 2005).

A pesar de todo lo planteado, la consideración de la energía como un aspecto fundamental dentro de la planificación urbana carece de un marco adecuado y de las metodologías definidas. La comprensión entre la planificación urbana y las cuestiones energéticas es útil para los planificadores, para la comunidad científica o para actores privados (Cajot et al., 2017).

2.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) fueron establecidos en la Conferencia de las Naciones Unidad sobre el Desarrollo Sostenible que tuvo lugar en la ciudad de Río de Janeiro en el año 2012, pero se llevaron a cabo en el año 2015 por medio de la Agenda 2030. El objetivo fue proponer un conjunto de metas mundiales con desafíos políticos, ambientales y económicos relacionados con los problemas que enfrenta la sociedad en la actualidad (Hák, Janousková, & Moldan, 2016).

Una de las principales funciones de los ODS es la sustitución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), que fueron establecidos a partir del año 2000 con el fin de mitigar la pobreza. Además estos objetivos fueron acordados universalmente para ayudar a

incrementar la enseñanza primaria a los niños y también combatir contra problemas generados por la extrema pobreza y hambre, junto con enfermedades mortales (Waage, Mace, Kock, & Mayhew, 2016).

Mientras los ODM estuvieron vigentes se promovió: la accesibilidad al agua y saneamiento, aumento de la natalidad infantil y mejora en las condiciones maternas de salud, una reducción de la pobreza. Éstos objetivos lograron un gran avance en la lucha contra el VIH/SIDA y otras enfermedades como la malaria y la tuberculosis (Hák et al., 2016).

El propósito de los ODS es motivar a que las personas acepten los cambios pasando por un estado de transición logrando de esta manera tener un mundo más sostenible (Joshi, Hughes, & Sisk, 2015). Uno de sus principales objetivos es disminuir los problemas que enfrenta el mundo, por ello se planteó 17 objetivos interrelacionados, es decir, el éxito o fracaso de uno de ellos afecta a todos los objetivos restantes. Además de la erradicación de la pobreza, los ODS pretenden equilibrar e integrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible: social, económico y ambiental (UNDP, 2017).

Mejorar la salud o lograr la igualdad de género está relacionado con la erradicación de la pobreza; de la misma manera, fomentar la paz y la inclusión de las sociedades permitirá contribuir a la mejora económica mundial. Es decir, es una oportunidad que se brinda sin ningún compromiso a las generaciones futuras (Waage et al., 2016).

Estos 17 objetivos están basados en los ODM aunque incluyen nuevos alcances como: el cambio climático, desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible, la paz y la justicia entre otras prioridades (Mcinnes, 2016).

Estos objetivos fueron establecidos con el fin de optar por una mejor calidad de vida desde el punto de vista de la sostenibilidad. Además cuentan con metas claras que se puedes adaptar a todos los países de acuerdo a sus desafíos y prioridades ambientales (Naciones Unidas, 2016). Los ODS están incluidos en la agenta 2030 y pretende abordar las principales causas de la pobreza incentivando a las personas a lograr un cambio positivo hacia el planeta (Girón, 2016).

Los ODS se presentan en la Ilustración 5:

Ilustración 5 Objetivos de Desarrollo Sostenible
Fuente: (Naciones Unidas, 2016). Elaboración propia

Bajo esta perspectiva, el presente estudio está alineado en los siguientes objetivos:

- Energía asequible y no contaminante.
- Industria, innovación e infraestructura.
- Ciudades y comunidades sostenibles.

2.2.1. Energía asequible y no contaminante

Para poder alcanzar la meta de los ODS es crucial el acceso a energía fiable, factible y sostenible; la misma que se obtiene a partir de la erradicación de la pobreza, abastecimiento de servicios básicos, educación, avances en la salud y a mitigación del cambio climático (Naciones Unidas, 2016)

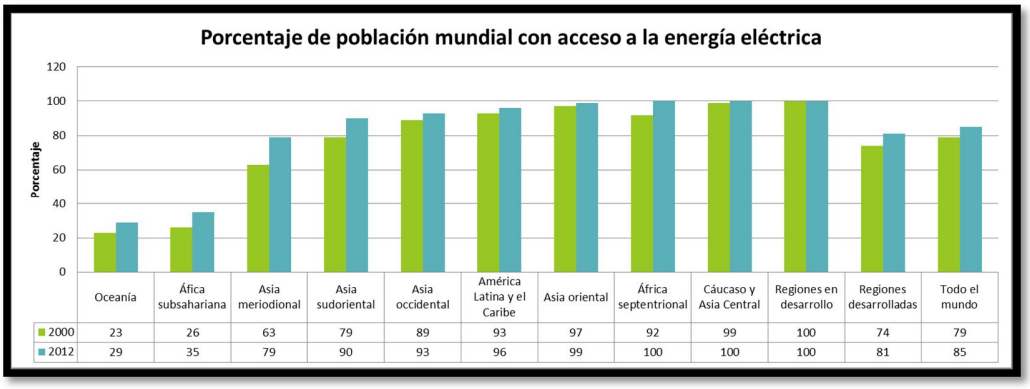
Para el año 2011, los combustibles fósiles representaban el 81.6% de la energía primaria consumida a nivel mundial; ocupando el petróleo el primer lugar con un porcentaje del 31.5%, seguido por el carbón 28.8% y finalmente con un 21.3% para el gas. Sin embargo el Objetivo 7 de los ODS busca el abastecimiento eléctrico de la población a nivel mundial. Actualmente cerca de 1441 millones de personas no cuentan con el acceso a la electricidad de las cuales, 214 millones están ubicadas en las zonas urbanas. Para el año 2035, esta cifra aumentará a 1213 millones, es decir más del 14% de la población mundial no contará con acceso energético y el precio promedio del crudo estará entre $113 y $135 cada barril. Además los precios de importación del gas natural y del carbón crecerán proporcionalmente al precio del barril de crudo y la demanda de energía primaria crecerá alrededor de 1.4% al año (Jiménez, 2011).

La energía obtenida en varios países no es suficiente para alcanzar el objetivo planteado. Sin embargo, la cantidad de personas con acceso a energía eléctrica aumento a 1,700 millones así como también el crecimiento población provocando un aumento en la demanda de energía accesible. Desde hace varios años se promueve el uso de energía limpia, por lo que más del 20% de energía eléctrica mundial que se consume es generada por fuentes renovables. No obstante, la economía global tiene sus fundamentos en el uso de

combustibles fósiles por lo que las emisiones de gases de efectos de efecto invernadero provocan alteraciones en el sistema climático (UNDP, 2017).

Para asegurar el acceso a la electricidad para el año 2030, es necesario invertir en energía limpia como por ejemplo: solar, eólica y termal. Se estima así mismo que la implementación de estándares de eficiencia energética puede reducir el 14 % del consumo de electricidad en los edificios (Naciones Unidas, 2016).

La proporción de la población mundial con acceso a energía eléctrica se ha incrementado de una manera sostenida de un 79% en el año 2000 al 85% para el 2012. Uno de los importantes progresos se obtuvieron en Asia meridional, Asia sudoriental y Asia subsahariana. A pesar de las mejores que se tiene un 65% de la población de África subsahariana y un 70% de Oceanía no cuenta con este servicio esencial. Como se puede observar a continuación en la Ilustración 6 (Naciones Unidas, 2016)



	Oceanía	Áfica subsahariana	Asia meriodional	Asia sudoriental	Asia occidental	América Latina y el Caribe	Asia oriental	África septentrional	Cáucaso y Asia Central	Regiones en desarrollo	Regiones desarrolladas	Todo el mundo
2000	23	26	63	79	89	93	97	92	99	100	74	79
2012	29	35	79	90	93	96	99	100	100	100	81	85

Ilustración 6 Porcentaje de población con acceso a la electricidad, 2000-2012
Fuente: (Naciones Unidas, 2016). Elaboración propia

El Objetivo 7 de los ODS busca mejorar la tecnología y la infraestructura contando con energía limpia. Además espera que dentro de su cumplimiento se pueda estimular el desarrollo económico y el cuidado ambiental (UNDP, 2017). Por lo que la ONU, ha establecido tres metas a alcanzar especificadas en la Ilustración 7: (Naciones Unidas, 2015)

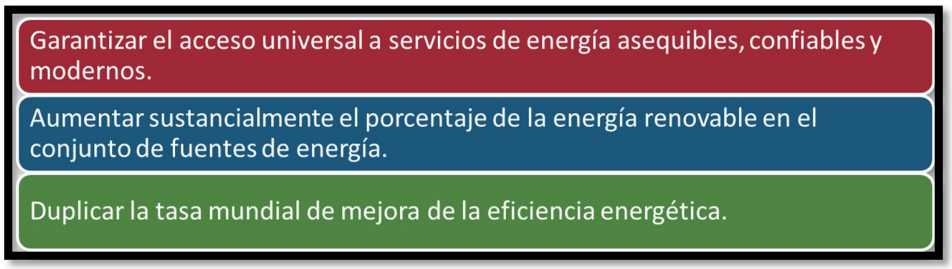


Ilustración 7 Propuestas planteadas por el objetivo 7
Fuente: (Naciones Unidas, 2016). Elaboración propia

2.2.2. Industria, innovación e infraestructura

Este objetivo está compuesto por: infraestructura, industrialización e innovación: i) la infraestructura brinda las instalaciones necesarias básicas para la sociedad y el comercio, ii) la industrialización promueve el desarrollo económico dando como resultado la creación de empleos disminuyendo así la desigualdad de ingresos, y iii) la innovación aumenta las capacidades de desarrollo tecnológico en los sectores industriales (Naciones Unidas, 2016).

La transformación y la innovación de la infraestructura son fundamentales para el crecimiento y desarrollo económico adecuado. Las energías renovables y el transporte masivo toman mayor importancia debido a que un gran porcentaje de población mundial está establecida en las zonas urbanas así también se da realce al desarrollo de nuevas industrias y también del crecimiento tecnológico. Los avances tecnológicos son esenciales para encontrar solución a los desafíos económicos y ambientales actuales, al igual que ayudan a la promoción de la eficiencia energética y fomentación de nuevos empleos. Las principales formas de fomentar la sostenibilidad viene dada por las industrias y la innovación e investigación científica (UNDP, 2017).

Para lograr una amplia promoción del emprendimiento y la innovación tecnológica es obligatorio reducir la brecha digital permitiendo un acceso igualitario a la información y el

conocimiento. Actualmente más de 4000 millones de personas no cuentan con acceso a Internet y el 90% proviene del mundo en desarrollo (Hák et al., 2016). Lo que se propone para el 2030, se menciona en la Ilustración 8 (Naciones Unidas, 2015):

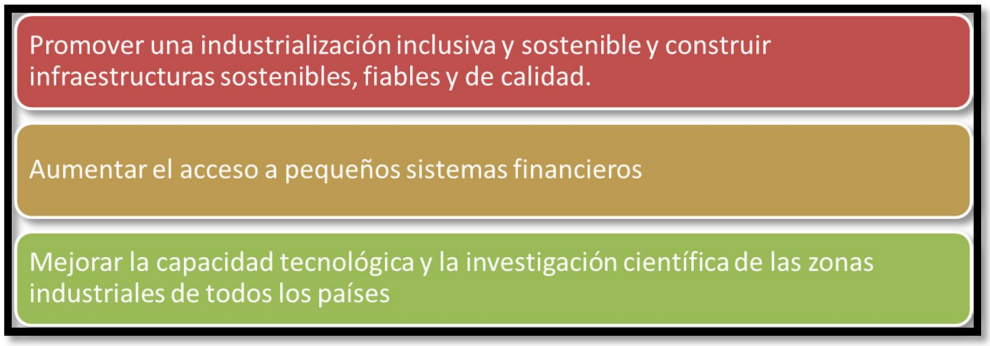


Ilustración 8 Propuestas planteadas por el objetivo 9.
Fuente: (Naciones Unidas, 2016). Elaboración propia

2.2.3. Ciudades y comunidades sostenibles

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas, sin embargo, se provee un aumento a 6500 millones de personas para el año 2050 es decir dos tercios de la humanidad. Es importante tener en cuenta que no se puede lograr un desarrollo sostenible sin cambiar la forma en la que se realiza la administración y construcción de los espacios urbanos. El alto nivel de pobreza está localizado principalmente en las zonas urbanas por lo que los gobiernos municipales buscan contener el aumento demográfico de dichas áreas.(Mcinnes, 2016).

Al lograr una mejora en la sostenibilidad y seguridad de las ciudades se garantiza el acceso a viviendas seguras y la reducción de los asentamientos marginales. No obstante, también se debe realizar fuertes inversiones en el área del sector público, en espacios verdes y en la planificación urbana (Girón, 2016).

En el 2014, el 30% de la población urbana vivía en condiciones categorizadas como barrios marginales. El porcentaje de la población que vivía en zonas marginales en África subsahariana era del 55%, la más alta a nivel mundial. A pesar que estos porcentajes se redujeron en la última década, aún existen regiones como la Oceanía y América Latica y el Caribe que mantienen sus porcentajes (Ilustración 9). Por lo que actualmente se requiere una acción que permita aumentar la resiliencia dado a que muchas ciudades siguen siendo consideradas como imanes para mejorar la calidad de vida (UNDP, 2017).

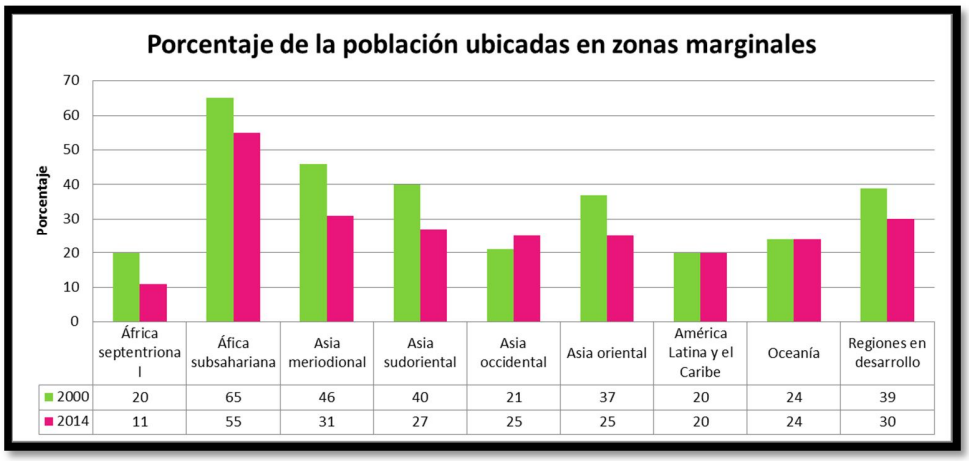


Ilustración 9 Porcentaje de población urbana en barrios marginales 2000-2014
Fuente (Naciones Unidas, 2016). Elaboración propia

Lo que propone para el 2030 este objetivo se expresa en la Ilustración 10 (Naciones Unidas, 2015):

Ilustración 10 Propuestas planteadas por el objetivo 11.
Fuente (Naciones Unidas, 2016). Elaboración propia

La agilidad con la que los pueblos o ciudades pequeñas se transforman en centros de servicios o comercio, da como resultado la modificación en la organización de las ciudades intermedias. Las ciudades intermedias se caracterizan por brindar diversos servicios urbanos aportando al crecimiento y desarrollo no solo de acuerdo a la actividad económica. Además presentan una problemática ambiental inferior a las grandes ciudades (Vázquez, 2017). Bajo este contexto, los ODS están incluidos a este estudio debido a que tratan de equilibrar el uso de los recursos naturales con el desarrollo económico, siendo esta una de las principales metas para las sociedades modernas.

2.3. Ciudades intermedias y la energía renovable

Se entiende a un sistema energético bajo dependencia como un modelo creado para el desarrollo económico de una sociedad que a la vez ayuda a mantener un nivel de vida determinado (Terrados, Almonacid, & Pérez-Higueras, 2009).

La diferencia principal entre la energía basada en combustibles fósiles y la energía de fuentes renovables (ER), es que las ER ayudan a las necesidades energéticas sin comprometer las fuentes de energía a futuro. Además las ER están distribuidas en diferentes localidades formando parte del recurso autóctono y logrando un impacto directo sobre la soberanía energética de cualquier país. En las ciudades anteriormente construidas no se tomaron en cuenta los diferentes sistemas energéticos, a pesar de ello los estudios realizados hasta la fecha han demostrado que es posible que una ciudad trascienda de manera total o parcial a ser autosuficiente en términos energéticos (Barragán & Terrados, 2017).

La velocidad de crecimiento y expansión convierte las zonas urbanas en grandes estructuras de desarrollo económico, social y ambiental tanto en centros urbanos como en grandes metrópolis. De esta manera, el rápido proceso de urbanización ya no es considerado como un problema solamente demográfico, arquitectónico – urbanístico, social o económico. Se requiere una visión holística que posibilite el desarrollo sustentable (Vázquez, 2017).

La utilización de energía se ha incrementado a partir de la revolución industrial de acuerdo al desarrollo del bienestar social. Los combustibles fósiles fueron los precursores para el suministro de energía. En la actualidad, el reemplazo del consumo de estas fuentes

no renovables por energía limpia sigue siendo uno de los principales desafíos sin lograr un mayor avance (Bhowmik et al., 2017).

No obstante, el grado de concientización se ha incrementado cuando se habla de las problemáticas ambientales generadas por el impacto causado por el uso de combustibles fósiles, obligando a los países desarrollados a implementar diferentes alternativas de energía verde respetuosas con el medio ambiente y capaz de reemplazar en su totalidad a las fuentes convencionales de energía (Global Leadership On Climate Change, 2012).

Las ciudades representaban en épocas pasadas un espacio con acceso privilegiado a servicios y bienes en donde se contaba con grandes inversiones de infraestructura. Sin embargo actualmente el funcionamiento de la zona urbana presenta problemas por la falta de planificación obteniendo mayor flujo migratorio. En un gran número de países el principal problema es la migración desde la zona rural hacia la ciudad (Vázquez, 2017).

Una gran parte de las ciudades crecieron como grandes metrópolis sin sistemas de planificación y sin asegurar que los asentamientos humanos sean equitativos y de calidad. Como resultado, se dio una población excesiva en las mismas debido a su incapacidad para poder absorber a todos los habitantes en las actividades productivas ni de disponer con los servicios básicos e infraestructuras (Montoya, 2009).

El surgimiento de villas miseria, favelas, bolsones de pobreza urbanos, son la prueba de que los procesos de urbanización constituyen un problema social y provocan altos niveles de degradación de los recursos naturales. Las diferencias sociales y geográficas provocan la migración hacia las zonas urbanas produciendo un fenómeno de transición de la pobreza desde la zona rural (Díaz Duque, 2015).

El nivel de energía global utilizada por las ciudades ha aumentado rápidamente, a principios de la década de los 90, las ciudades utilizaban menos de la mitad de energía; actualmente utilizan más de dos tercio del total. En las ciudades, el aumento del consumo energético ha ayudado a la disminución de la pobreza a nivel mundial pero también esto ha contribuido al incremento de la utilización de combustibles fósiles (IRENA, 2016).

Las ciudades representan el 70% de las emisiones de CO_2 producidas, convirtiéndolas en un gran contribuyente al cambio climático, además son propensas a sufrir las consecuencias de este problema ambiental (Global Leadership On Climate Change, 2012).

Se estima que el 70% de todas las ciudades, actualmente sufren daños generados por el cambio climático. Además el 90% de las áreas urbanas costeras están siendo afectadas por el aumento del nivel del mar. Las ciudades de los países en desarrollo son más vulnerables debido a que no sólo se enfrenta a la problemática ambiental sino a problemas como: la alta tasa de crecimiento poblacional, la falta de infraestructura y limitación en los recursos financieros (Birkmann, Welle, Solecki, Lwasa, & Garschagen, 2016).

El incremento de consumo de energía también provoca la disminución de la calidad de aire, un porcentaje de más del 90% de los niveles de calidad del aire de personas que viven en zonas urbanas superan los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2016).

Los gobiernos cumplen un rol importante mediante la creación de políticas de apoyo en donde se incentive las innovaciones tecnológicas y además se proporcione una infraestructura adecuada. El transporte y los edificios son los mayores consumidores de energía por lo que están estrechamente ligados con la sostenibilidad que se logre dentro de las ciudades (Global Leadership On Climate Change, 2012).

El objetivo de las ciudades intermedias es transformarse en un nuevo espacio de vida y mecanismos estratégicos que permitan reconocer el territorio estableciendo nuevas relaciones sociales, políticas y económicas entre las regiones. Ser una ciudad intermedia representa modificar positivamente los asentamientos humanos diversificando y descentralizando el poder, la infraestructura y los servicios (Romero & Vásquez, 2017).

Las ciudades intermedias son importantes para el crecimiento urbano mundial de los próximos años. La planificación principal, la gestión y la regulación, dentro de las políticas urbanas nacionales, conseguirían ayudar a las ciudades intermedias a emprender cuestiones sociales, económicas y ambientales (Díaz Duque, 2015).

La rápida urbanización pone como prioridad a las ciudades intermedias debido a que son el centro de acogida de una gran parte de la población urbana mundial. Además son sometidas a continuos cambios en su ambiente por su propia dinámica económica y social (Arriagada, 2000). A escala mundial, las ciudades intermedias permiten formular soluciones y propuestas para alcanzar un desarrollo sostenible urbano a nivel geográfico y cultural (Bellet & Llop, 2004).

América Latina y el Caribe, en las últimas cuatro décadas han soportado una transición rápida en la demografía debido al aumento sostenido de la población urbana provocando procesos de recomposición social y económica. Actualmente no solo se trata de crecer demográficamente, sino de asegurar que este crecimiento genere desarrollo y vaya de la mano con el entorno físico deseado por sus actores y de acuerdo a las actividades productivas (Montoya, 2009).

En América Latina, las ciudades no solo presentan altos niveles de fragmentación y segregación, sino también un elevado consumo de recursos naturales, los mismos que

causan grandes impactos de contaminación, como resultado del crecimiento espontáneo o escasamente planificado. Por lo que es necesaria una reflexión en torno a los modelos de ocupación urbana que aseguren niveles aceptables de sustentabilidad (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, n.d.),

La población urbana de la región pasó de casi 70 millones en 1950 a más de 470 millones de habitantes en 2010, con proyecciones para 2050 de más de 680 millones de personas viviendo en ciudades. A mediados de la década de 2000 el 75% de la población de América Latina vivía en ciudades, lo que la convertía en la región del mundo más urbanizada (Vázquez, 2017).

Para varias ciudades, las ER son esenciales para lograr la creación de un sistema energético adecuado brindando ventajas como: recuperar la calidad del aire, mejorar el estilo de vida, reducción de las emisiones CO_2, costos asequibles (Bhowmik et al., 2017). La implementación de ER en ciudades genera grandes oportunidades económicas; según IRENA (2015), por ejemplo al duplicar la cuota de energías renovables globales para 2030 se puede crear millones de nuevos empleos, mejorar la salud e impulsar la economía mundial. Las ciudades pueden adaptar las energías renovables de la siguiente manera (Ilustración 11) (IRENA, 2016):

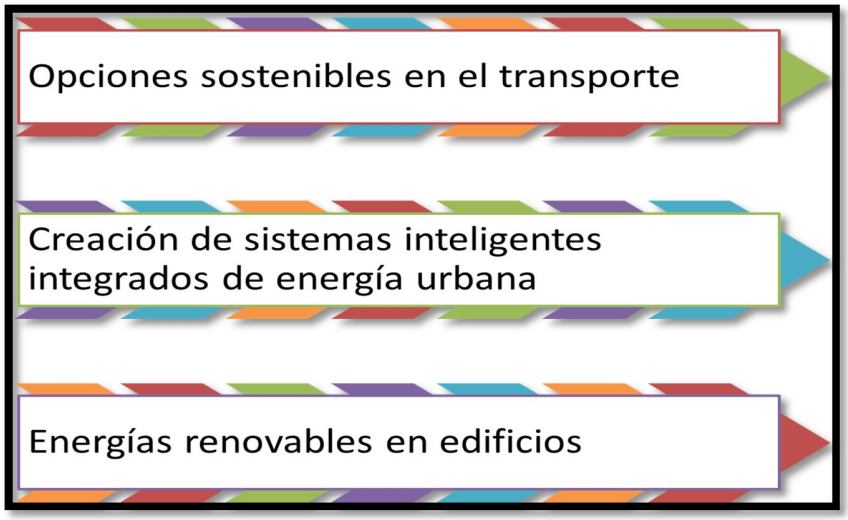


Ilustración 11 Opciones de adaptación de las ER en las ciudades
Fuente (IRENA, 2016)**. Elaboración propia**

2.3.1. Cuenca como ciudad intermedia

Según las estadísticas, la ciudad de Cuenca aumentaría de los 459.057 habitantes en el 2010 a 703.220 habitantes en el 2030 y a 901.499 habitantes en el 2050, un total de 96.4% respecto la población actual (Habitat III, 2015).

Cuenca como ciudad, es un referente en donde se aplica el proceso de planificación alcanzando de esta manera una relación correcta con los servicios básicos, siendo nombrada como "ciudad saludable" por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad (Habitat III, 2015). Desde el enfoque de competitividad, la ciudad tiene un elemento decisivo: ofrece la mejor calidad de vida del Ecuador. También se presenta como una ciudad con grandes oportunidades y desafíos para ser sostenible (BID, 2014).

Cuenca, al igual que otras ciudades intermedias, presenta un aumento poblacional según los datos censales. Estos datos muestran un crecimiento de las zonas rurales,

especialmente aquellas que están ubicadas junto al perímetro urbano. El límite urbano se ha mantenido desde el año 1998 sin grandes alteraciones, brindando una falsa imagen de estabilización ocupacional y poblacional (BID, 2014).

Uno de las metas del Hábitat III es contar con ciudades que brinden una buena calidad de vida a sus habitantes, minimizando los impactos sobre los recursos naturales y preservando su patrimonio natural. Actualmente, Cuenca debe cumplir con los objetivos definidos propuestos en la estrategia territorial del Plan Nacional del Buen Vivir asumiendo su papel de "nodo de estructuración nacional" sin perder las condiciones establecidas anteriormente que sustentan la calidad de vida, la cultura y el manejo del entorno natural. De esta manera, la ciudad puede optimizar los recursos y potencialidades sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras (Habitat III, 2015).

2.4. Técnicas de Decisión Multicriterio

La decisión multicriterio aparece ligada a los diferentes trabajos realizados por los economistas de finales del siglo XIX y principios del XX, que estudiaban el comportamiento de los consumidores a la hora de decidir acerca de la compra de un producto. Estas investigaciones económicas fueron las predecesoras del concepto de decisión multicriterio (Pomerol & Barba-Romero, 2000).

Las evaluaciones y tomas de decisiones es un proceso habitual. Los humanos en ciertas ocasiones afrontan situaciones que conlleva la selección de la mejor alternativa entre distintas opciones satisfaciendo de la mejor manera las necesidades requeridas. De acuerdo con esto, para tomar la decisión más acertada es necesario conocer los hechos y tener la experiencia suficiente para poder evaluar el problema de una manera global. El proceso de la toma de decisiones se apoya en su mayoría en la experiencia del decisor y rara vez en un

método sistemático de resolución. El análisis de decisiones multicriterio se presenta como una herramienta de ayuda para el decisor en el proceso de toma de decisiones (Mateo, 2012).

Las Técnicas de Decisión Multicriterio MCDA (Multi-Criteria Decision Making), están definidas como:

"*Estudio de métodos y procedimientos, cuyos múltiples y conflictivos criterios, pueden ser incorporados a un proceso de decisión"* (Dyer et al., 2007).

Los MCDA, comprende una serie de técnicas usadas para la resolución de problemas complejos que poseen múltiples variables, para el efecto, se combinan diferentes disciplinas que van desde la informática, hasta un amplio espectro de ingenierías (Gal, Stewart, & Hanne, 2013). Dentro del método MCDA, se definen los tipos de problema a los que el método puede dar respuesta (Ghorabaee, Zavadskas, Olfat, & Turskis, 2015):

- Problemas de selección de opciones únicas: se selecciona la opción más óptima de entre todas las alternativas.
- Problemas de clasificación: la respuesta se organiza de acuerdo a ciertos niveles.
- Problemas de calificación: las soluciones son calificadas de acuerdo a una escala comparativa del más bajo, al más alto.
- Problemas de descripción: identifica el impacto de la posible solución y sus consecuencias

No existe un solo método para brindar soluciones a los cuatro tipos de problemas, sino que cada uno tiene una lista de Métodos MCDA a los que pueden dar respuesta. Para determinar el más idóneo, es necesario tomar en cuenta aspectos como los tipos de criterios,

complejidad, preferencias de riesgo, número de alternativas, etc. En la Tabla 1 se muestra la clasificación de los diferentes métodos utilizados para facilitar la resolución de los problemas anteriormente citados.

Tabla 1 Métodos MCDA por tipo de problema

Problemas de selección	Problemas de clasificación		Problemas de descripción
AHP	AHP	AHP SORT	GAIA
ANP	ANP	UTADIS	
MAUT/UTA	MAUT/UTA	FLOW SORT	
MACBETH	MACBETH	ELECTRE III	
PROMETHEE	PROMETHEE		
ELECTRE I	ELECTRE II		
TOPSIS	TOPSIS		
GOAL PROGRAM	DEA		
DEA			

Fuente: (Raigoza, 2016) (Hendriks, De Boer, Smilde, & Doornbos, 1997) (Triantaphyllou, 2000)
Elaboración propia

Para este estudio, es necesaria la aplicación de un método de decisión MCDA que abarque numerosos decisores tomando en cuenta que en ciertos aspectos la información puede llegar a ser limitada. Estudios relacionados al tema energético ambiental, han usado métodos MCDA para decisiones multicriterio. J. Wang, Jing, Zhang (2009) en su artículo "*Review on multi-criteria decisión analysis aid in sustainable energy decision-making*" realizaron una revisión de cerca de 200 publicaciones que usan el MCDA, de ellos el 34% están ligados a temas ambientales mientras que los técnicos energéticos representaron el 22%. En la Tabla 2, se presenta una serie de aplicaciones en las cuáles se ha utilizado técnicas MCDA.

Tabla 2 Ejemplos de estudios realizados con MCDA

Autores	Aplicación	Método
(Falconí & Burbano, 2004)	Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales.	AHP
(Raigoza, 2016)	Aplicación de Métodos Multi-criterio (MCDA) para planeamiento energético de largo plazo en la industria del Cemento.	PROMETHEE
(Yajure C. , 2015)	Metodología integrada multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energía renovable a utilizar para la producción de energía eléctrica.	PROMETHEE AHP
(Yajure & Guzman, 2014)	Enfoque multicriterio para la selección preliminar de la mejor tecnología para la producción de electricidad a partir del carbón mineral.	PROMETHEE I PROMETHEE II AHP
(Fernández, Amarilla, Blanco, & Oxilia, 2016)	Análisis multi-criterio sobre la valoración de la energía eléctrica de Itaipu en el mercado eléctrico brasileño.	AHP
(Yajure C. , 2016)	Comparación de técnicas de ponderación de criterios en metodologías de toma de decisiones multicriterio aplicadas a la jerarquización de tecnologías renovables	TOPSIS
(Vega, Prías, & Sierra, 2016)	Matriz de selección de energías alternativas basada en análisis multi-atributo para la conservación de pescado	MAUT/UTA
(Jurado, 2016)	Energías renovables: modelos de planificación energética sostenible	AHP
(Escrivá, 2016)	Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en el dimensionamiento de sistemas renovables	AHP
(Guerrero & Faxas, 2015)	Análisis de toma de decisión con AHP/ANP de energías renovables en República Dominicana	AHP

Fuente: (J. Wang et al., 2009). Elaboración propia

En general, los MCDA tienen en común una serie de etapas: definición del problema, definición de alternativas, elección de criterios, evaluación de criterios, elaboración de matriz de decisión, asignación de pesos, desarrollo de la priorización; y la toma de decisiones, que se pueden relacionar de forma coherente con etapas habituales de un proceso de planificación (Hosseini, Fuente, & Pons, 2016).

Las técnicas MCDA son importantes en la planificación energética ya que permiten la inclusión de diferentes puntos de vistas, como por ejemplo, considerar los intereses y preferencias de todos los factores afectados con la creación de nuevas alternativa políticas. Estas técnicas permiten la integración de cuatro aspectos: i) técnicos, ii) ambientales, iii) sociales y iiii) económicos, logrando así obtener la opción más eficiente de energía a menor precio, con mayor aceptabilidad social y amigable con el medio ambiente (Mateo, 2012).

Las técnicas multicriterio más utilizadas en procesos relacionados con la planificación energética son: ELECTRE, PROMETHEE (Preference ranking organization method for enrichment evaluation) y AHP (Analytical Hierarchy Process) (Kumar et al., 2017). A continuación se describirán brevemente los métodos más relevantes.

2.4.1. AHP

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), fue desarrollado por Thomas L. Saaty a finales de la década de los 70s. Es una metodología de análisis multicriterio fundamenta en la estructuración del problema de decisión a través de un árbol jerárquico. En primer lugar está ubicada la meta a alcanzar seguida por los criterios establecidos, después los distintos niveles sub – criterios y finalmente las posibles alternativas (Aggarwal, Singh, & Ahp, 2013).

La toma de decisiones se realiza por medio de comparaciones binarias para cada criterio, estableciendo de esta manera la importancia de las alternativas mediante la asignación de pesos (Vaidya & Kumar, 2006). Los valores asignados van desde 1, 3, 5, 7 hasta 9 según si el criterio i respecto al criterio j es: igual de importante, ligeramente más importante, notablemente más importante, demostrablemente más importante o absolutamente más importante (Haddah, Liazid, & Ferreira, 2017). El método tiene ciertas limitaciones por la utilización de comparaciones binarias y de la estructuración jerárquica (Aggarwal et al., 2013).

2.4.2. ELECTRE

Los métodos ELECTRE ((Elimination Et Choix Traduisant la REalité) fueron desarrollados por Bernard Roy inicialmente en la Universidad Paris - Dauphine, desde entonces se ha extendido su utilización (Ermatita, Hartati, Wardoyo, & Harjoko, 2011). Este método está compuesto por varias versiones que se diferencian principalmente por la utilización de conjuntos difusos, por la ordenación de las alternativas y por su aplicación (Figueira, Mousseau, & Roy, 2011).

La base fundamental del cálculo de estos métodos es la matriz de decisión y los índices de concordancia y discordancia. El índice de concordancia entre dos alternativas es la suma de los pesos asociados a los criterios. Mientras que el índice de discordancia se calcula obteniendo el máximo entre las diferencias entre los criterios donde una alternativa es dominada por la otra y dividiendo dicho valor para la mayor diferencia en valor absoluto entre dos alternativas. Calculando los índices, se obtienen las matrices de concordancia y discordancia respectivamente (Figueira et al., 2011).

La elección del mejor método ELECTRE depende del tipo de problema que se plantee. En la Ilustración 12, se indica diferentes versiones de ELECTRE está conformada por los siguientes elementos (Ermatita et al., 2011):

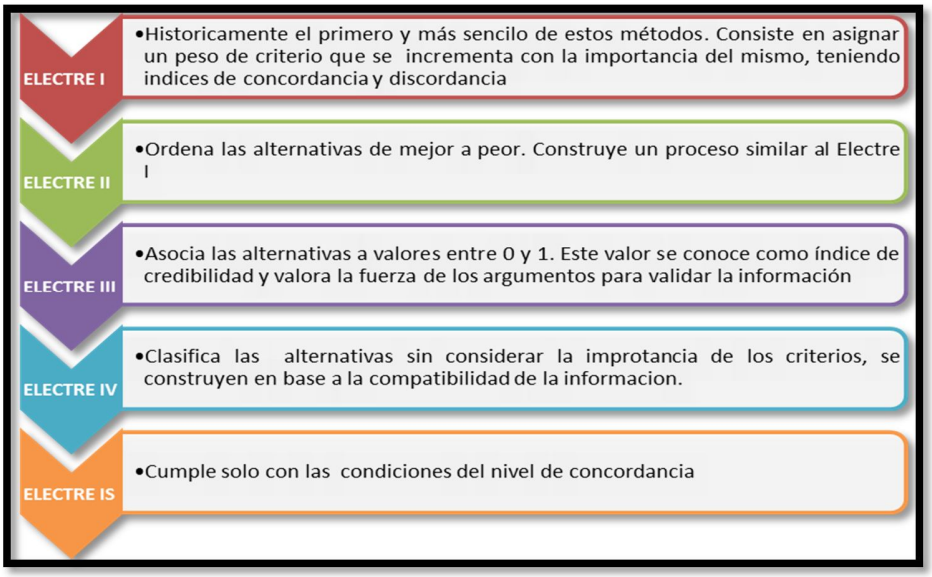


Ilustración 12 Clasificación del Método ELECTRE
Fuente: (Ermatita, et al., 2011). Elaboración propia

2.4.3. PROMETHEE

El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) es uno de los métodos más recientes, siendo su creador Jean-Pierre Brans. También cuenta con varias versiones: PROMETHEE III, IV, V, VI y GAIA (Brans & Mareschal, 2016).

Se fundamente en la utilización de criterios normales para establecer la superioridad de una alternativa frente a otra. Para poder lograr este objetivo, primero se definen los criterios con sus respectivos pesos y se calcula los índices de preferencia. El índice de preferencia entre dos alternativas, es la suma de los pesos de los criterios (Brans & Mareschal, 2016).

El objetivo principal del método es ser de fácil comprensión para el decisor. Además PROMETHEE, dentro del análisis multicriterios es el método más intuitivo. Está encargado de ayudar al decisor en problemas de elección y clasificación basándose en tres etapas descritas en la Ilustración 13 (Tomic, Marinkovi, & Janoševi, 2011):

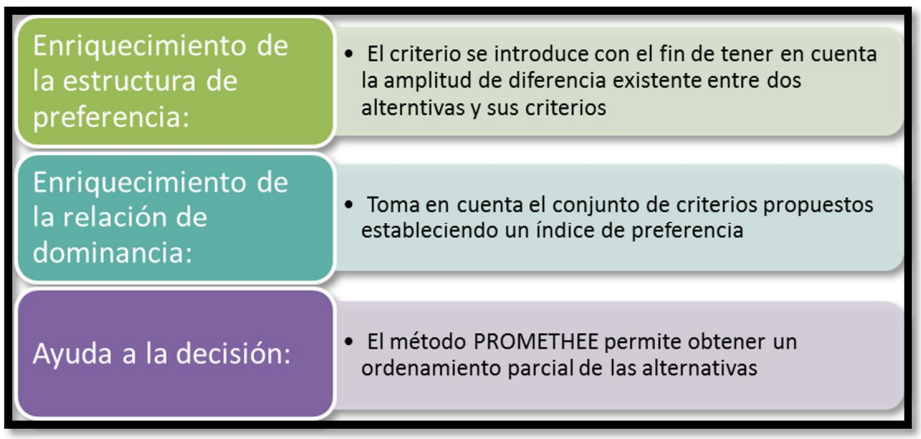


Ilustración 13 Proceso de toma de decisiones del método PROMETHEE.
Fuente Tomić, et al., 2011: Elaboración propia

2.5. Elección de la técnica MCDA

Para lograr la sostenibilidad deseada, se requiere una adecuada planificación energética, la misma que incluye abordar varios criterios: económicos, técnicos, sociales y ambientales. Bajo este contexto varios autores proponen el uso de las decisiones multicriterio permitiendo apoyar al tomador de decisiones sobre la mejor selección de opciones y políticas energéticas (Q. Wang & Poh, 2014). En la Tabla 4 se muestran diferentes ventajas y desventajas que presentan los principales métodos de decisión multicriterio:

Tabla 3 Ventajas y desventajas de los MCDA

Métodos	Ventajas	Desventajas
ELECTRE	Es capaz de manejar criterios discretos de naturaleza cuantitativa y cualitativa y de proveer una completa ordenación de las alternativas.	La mecánica operativa no es complicada, pero no considera la intensidad de las preferencias.
	El tomador de decisiones puede expresar su estricta preferencia, indiferencia o ausencia de preferencia cuando se compara una alternativa con otra para cada criterio y no requiere de gran esfuerzo.	Necesidad de un análisis de sensibilidad para despejar dudas sobre los umbrales de concordancia y discordancia, es un método menos sólido teóricamente.
PROMETHEE	Es fácilmente comprensible por el decisor y puede expresar su estricta preferencia, indiferencia o ausencia de indiferencia.	Es un método menos sólido teóricamente.
	Permite obtener una ordenación total o parcial de las alternativas no dominadas, y es aplicable a problemas reales	Ciertas limitaciones para su aplicación en la selección de carteras de proyectos
AHP	Método muy popular dentro de la categoría de métodos MADM debido a su simplicidad y flexibilidad y es aplicable a problemas reales.	Tiene diferentes escalas de evaluación de para la determinación de los pesos de los criterios.
	Es un método no probabilístico que usa una estructura jerárquica y un modelo de preferencias y permite tratar problemas complejos.	Consume mucho tiempo de cálculo cuando el número de alternativas y/o criterios es elevado.
	Utiliza una escala que cuantifica verbalmente las descripciones expresadas, lo cual facilita el uso de criterios cualitativos y cuantitativos.	La introducción de una nueva alternativa puede hacer variar la estructura, además la forma de evaluar la consistencia de los juicios emitidos.
	Incluir la participación de diferentes personas grupos de interés y generar un consenso.	Demandan un tipo de información que generalmente resulta difícil de conseguir.
	Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es el caso.	

Fuente: (Rojas Zerpa, 2012). Elaboración propia

Sin embargo Wimmler (2015) y Q. Wang & Poh (2014) demostraron que los métodos derivados de la familia AHP son adecuados particularmente para resolver los problemas relacionados con la toma de decisiones energéticas. Wimmler et al (2015) estudiaron los métodos multicriterios para los sistemas energéticos renovables en diferentes islas concluyendo que esta técnica es la más aplicada. La técnica AHP también se hace presente en estudios de análisis de decisiones energéticas y de modelamiento del medio ambiente demostrado por Q. Wang & Poh (2014).

A continuación en la Tabla 4 se presentan algunos ejemplos de la aplicación de la técnica AHP:

Tabla 4 Ejemplos de Aplicación de la Técnica Multicriterio AHP.

Autor	Año	Aplicación	Ubicación
Hamalainen & Karjalainen	1992	Se utilizó AHP para determinar los pesos relativos de la evaluación de políticas energéticas	Finlandia
Danie, et al.	2010	Se evaluó las ER con un enfoque en el AHP	India
Wang, et al.	2010	Se evaluó el carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear y energías alterativas usando AHP	China
Amer & Daim	2011	Se utilizó por primera vez en Pakistán la técnica AHP para el análisis de la política energética	Pakistán
Demirtas	2013	Aplicación del método AHP para evaluar la mejor tecnología renovable	Turquía
Janjić, et al.	2013	Se usó la técnica AHP para la elección de tecnologías alternativas de suministro de energía de acuerdo a criterios de desarrollo sostenible.	Serbia
Ahmad & Tahar	2014	Establecieron un modelo de evaluación basado en el método AHP para priorizar las opciones renovables (eólica, solar, biomasa e hidroeléctrica)	Malasia
Kablan	2014	Se usó AHP para la formulación de políticas energéticas proponiendo un modelo de gestión que permita priorizar las políticas de conservación y de energía	Jordania
Javid, et al.	2014	Se propuso el uso de AHP para seleccionar las estrategias de mitigación de CO2	EE.UU
Tahri, et al.	2015	AHP combinada con un Sistema de Información Geográfica	Morocco
Stojcetovic, et al.	2016	Se propuso una metodología que integrara el análisis FODA y el AHP para la selección de ER	Serbia
Al-Garni, et al.	2016	Se presentó un enfoque multicriterio para evaluar la generación de las ER usando AHP	Arabia Saudita
Erkan, et al.	2016	Construcción de viviendas con energía cero usando AHP para determinar los mejores componentes como paneles solares, turbinas eólicas o sistemas híbridos	

Fuente: (Haddah, Liazid , & Ferreira, 2017). Elaboración propia

La metodología AHP no solo se limita al uso en las áreas energéticas sino también se ha utilizado en: la agricultura, análisis de accidentes en la carretera, economía o medicina. Este amplio uso ha permitido validar su uso, así como su versatilidad y alto reconocimiento para abordar problemas complejos de decisión (Kim, Jang, & Lee, 2013).

La AHP busca abordar diferentes criterios, se basa en la retroalimentación de las partes interesadas o de expertos informados en la temática, dando como resultado una definición exacta de las prioridades de los criterios y de la clasificación de las mejores opciones de ER según las condiciones locales (Wimmler et al., 2015).

2.5.1. Proceso Analítico Jerárquico

El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) fue desarrollado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso exige que quien toma las decisiones brinde evaluaciones subjetivas respecto a la importancia de los criterios seleccionados y después especifique su preferencia con respecto a cada uno de los mismos. El resultado es una jerarquización que muestra la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Mateo, 2012).

El AHP, por medio de la construcción de un modelo jerárquico, organiza la información respecto de un problema, permitiendo poder descomponerla y analizarla por partes, además de visualizar los efectos de cambios en los niveles (Vaidya & Kumar, 2006)

La metodología está diseñada para estudios en donde las ideas, sentimientos y emociones deben ser cuantificados sobre la base de juicios subjetivos. El fin es obtener una escala numérica y dar preferencias a las alternativas de decisión, logrando determinar la mejor opción ante el conjunto de alternativas (Velasquez, Núñez, & Rodríguez, 2010).

El AHP está relacionado con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión. Este método hace posible la toma de decisiones grupal mediante el agregado de opiniones, de tal manera que satisfaga la relación recíproca al comparar dos elementos. Luego toma el promedio geométrico de las opiniones. Cuando el grupo consiste en expertos cada uno elabora su propia jerarquía, y el AHP combina los resultados por el promedio geométrico (Liberatore & Nydick, 2008).

Este proceso está compuesto de varias etapas, la primera etapa usa la metodología de crear un esquema jerárquico del problema planteado permitiendo observar los niveles del mismo. El primer nivel está conformado por la definición del problema, el segundo nivel corresponde al desglose del problema en sus componentes relevantes. La jerarquía más común está compuesta por: meta, criterios y alternativas (Velasquez et al., 2010).

Una vez construida la estructura jerárquica sigue la segunda etapa, en donde el decisor valora las preferencias de cada nivel jerárquico basándose en su juicio de valor. Esta evaluación consiste en la comparación de valores subjetivos por parejas. El método AHP permite realizar las comparaciones pareadas basándose en factores cuantitativos así como también en factores cualitativos. Uno de los beneficios que brinda este método es que el decisor puede expresar su preferencia de forma verbal y representarla por medio de una medida numérica (Martínez Rodríguez, 2007).

La valoración se expresa por medio de una escala con valores de 1 al 9 (Tabla 5) (Cohen, Díaz, Macías, & Estrada, 2010).

Tabla 5 Escala de preferencia planteada por Saaty.

Planteamiento	Valorización numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente preferible y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Fuente: (Toskano Hurtado, 2005). Elaboración propia

Como resultado de estas comparaciones se obtiene una matriz cuadrada denominada como «matriz de comparaciones pareadas» donde cada uno de los componentes reflejan su importancia preferencial frente a otro con respecto a un atributo previamente establecido (Velasquez et al., 2010).

Uno de los más importantes factores en cuanto se habla de la calidad de la decisión final se refiere a la consistencia de los juicios que brinda el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. Es importante conocer que la consistencia perfecta es difícil de lograr por lo que es de esperar cierto índice de inconsistencia en cualquier conjunto de comparaciones pareadas. Esto da lugar a la da lugar a la tercera etapa, denominada como fase de priorización y síntesis (Toskano, 2005).

La metodología AHP permite medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas brindadas por el decisor. Si el grado de consistencia es aceptable, se puede continuar con el proceso de decisión. Caso contrario, es importante considerar modificar los juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis (Mateo, 2012).

La Ilustración 14 muestra el proceso de la metodología explicado anteriormente:

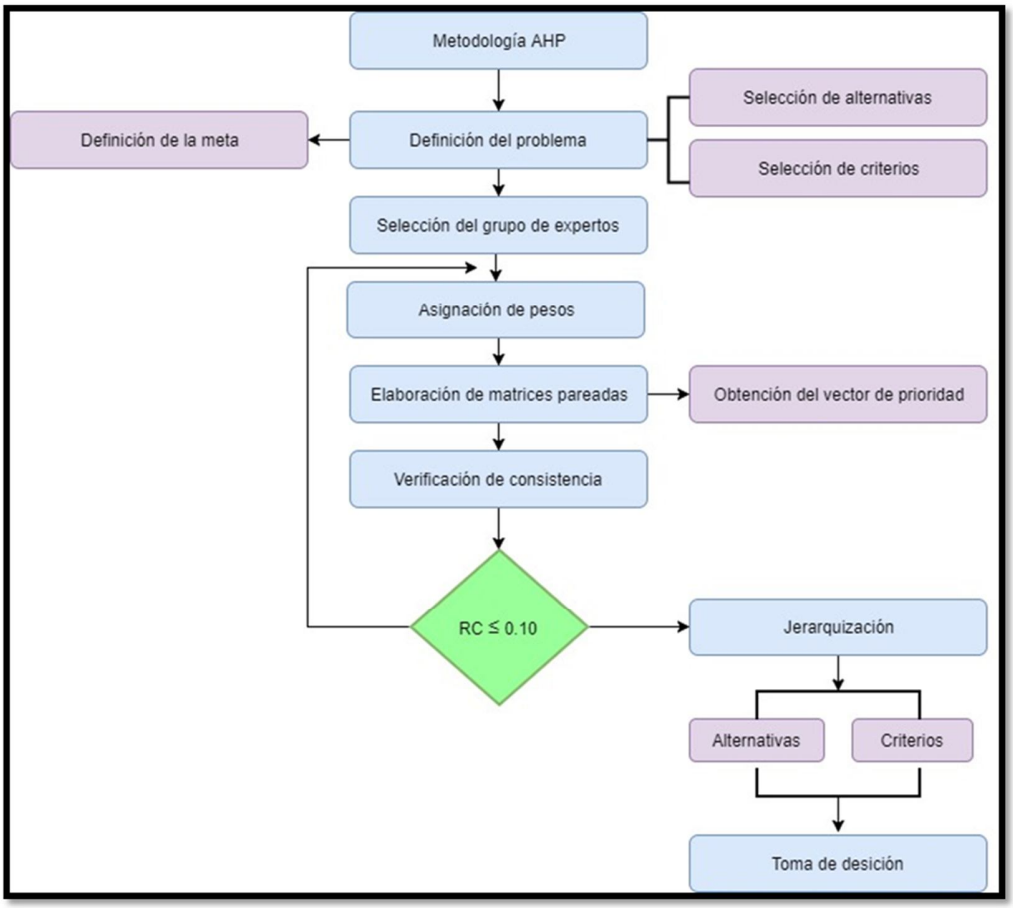


Ilustración 14 Diagrama de flujo de la metodología AHP
Fuente: El autor

Para medir el grado de consistencia (RC) se utiliza la Ecuación 1 (Toskano, 2005):

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Ecuación 1 Cálculo de la razón de consistencia
Fuente (Toskano Hurtado, 2015). Elaboración propia

$IC = índice\ de\ consistencia$

$IA = índice\ de\ consistencia\ aleatoria$

El grado de consistencia debe ser $RC \leq 0.10$. Para obtener el índice de consistencia de la matriz pareada (IC) y se calcula de la siguiente manera (Ecuación 2):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Ecuación 2 Cálculo del índice de consistencia
Fuente (Toskano Hurtado, 2015). Elaboración propia

$\lambda_{max} = máximo\ autovalor\ de\ la\ matriz, \qquad \lambda_{max} \geq n$

$n = número\ de\ alternativas\ comparadas$

Para obtener el índice de consistencia aleatorio de la matriz pareada se utiliza la Ecuación 3:

$$IA = \frac{1.98\ (n - 2)}{n}$$

Ecuación 3 Cálculo del índice de consistencia aleatorio
Fuente (Toskano Hurtado, 2015). Elaboración propia

$n = número\ de\ alternativas\ comparadas$

Capítulo 3

3. Aplicación AHP

3.1. Definición del problema

Conforme los estudios realizados por la Municipalidad de Cuenca y el Banco Interamericano de Desarrollo, la población de la zona urbana de la ciudad pasará de 459.057 habitantes en el año 2010 a tener 901,499 para el año 2050. En el año 2012, Cuenca utilizaba la generación hidroeléctrica proporcionada principalmente por las centrales Saymirín y Saucay para la obtención de energía eléctrica (Jaramillo, 2017). En la actualidad, el 99.6% de la población urbana de Cuenca cuenta con servicio de energía eléctrica en su vivienda que se encuentra conectada a la red Centrosur (BID, 2014).

La metodología del Índice de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), en Cuenca, sostiene que la emisión de gases de efecto invernadero alcanza a 2.42 toneladas anuales de CO_2 per cápita ubicándole a la ciudad en un nivel verde (BID, 2014). En la ciudad el consumo promedio de energía eléctrica en una vivienda ubicada en la zona urbana es de 243.8 kWh (Baquero & Quesada, 2016). El sector residencial es el mayor consumidor de energía eléctrica con un porcentaje del 37.76% seguido por el industrial con un porcentaje de 32.47%, el comercial con un 15.68%, público 8.58% y otros con el 5.51% (Centrosur, 2015).

Cuenca consume un aproximado de 90 millones de galones de combustible por año. El 90% del total de combustibles que son enviados a la ciudad, están empleados principalmente en el transporte, siendo la gasolina súper, extra y el diésel premium los combustibles de mayor demanda. En el presente, solo para la generación de energía térmica

y en la industria se utiliza el fuel oil y el diésel. Además es importante mencionar que la gasolina extra también se utiliza dentro del sector industrial, sin embargo el consumo es mínimo en comparación con el transporte. El GLP, es utilizado en el sector doméstico, un 95% para la cocción y un 59% para el calentamiento de agua (Jaramillo, 2017).

El principal problema que se pretende solucionar es la necesidad de implementar ER en Cuenca, reduciendo los flujos de entrada y salida de energía por medio del abastecimiento de recursos propios del lugar. Se han seleccionado un conjunto de alternativas propuestas que permitan el suministro de energía, considerando diferentes criterios y opiniones de expertos para el proceso de toma de decisiones. Es necesario que el proceso sea entendido como un ordenamiento de diferentes alternativas basadas en criterios establecidos previamente y ponderados por diferentes expertos considerados como decisores. Partiendo desde este análisis se establece que el problema forma parte de una decisión multicriterio donde la categorización de las alternativas forma parte del objetivo central del problema establecido. Una vez establecido el problema se pretende resolverlo por lo que es necesario realizar un análisis de las características fisco-naturales, económicas y servicios públicos del cantón de Cuenca (Rojas Zerpa, 2012).

Para comenzar con la aplicación de la técnica AHP es importante contar con el esquema jerárquico que se muestra a continuación en la Ilustración 15:

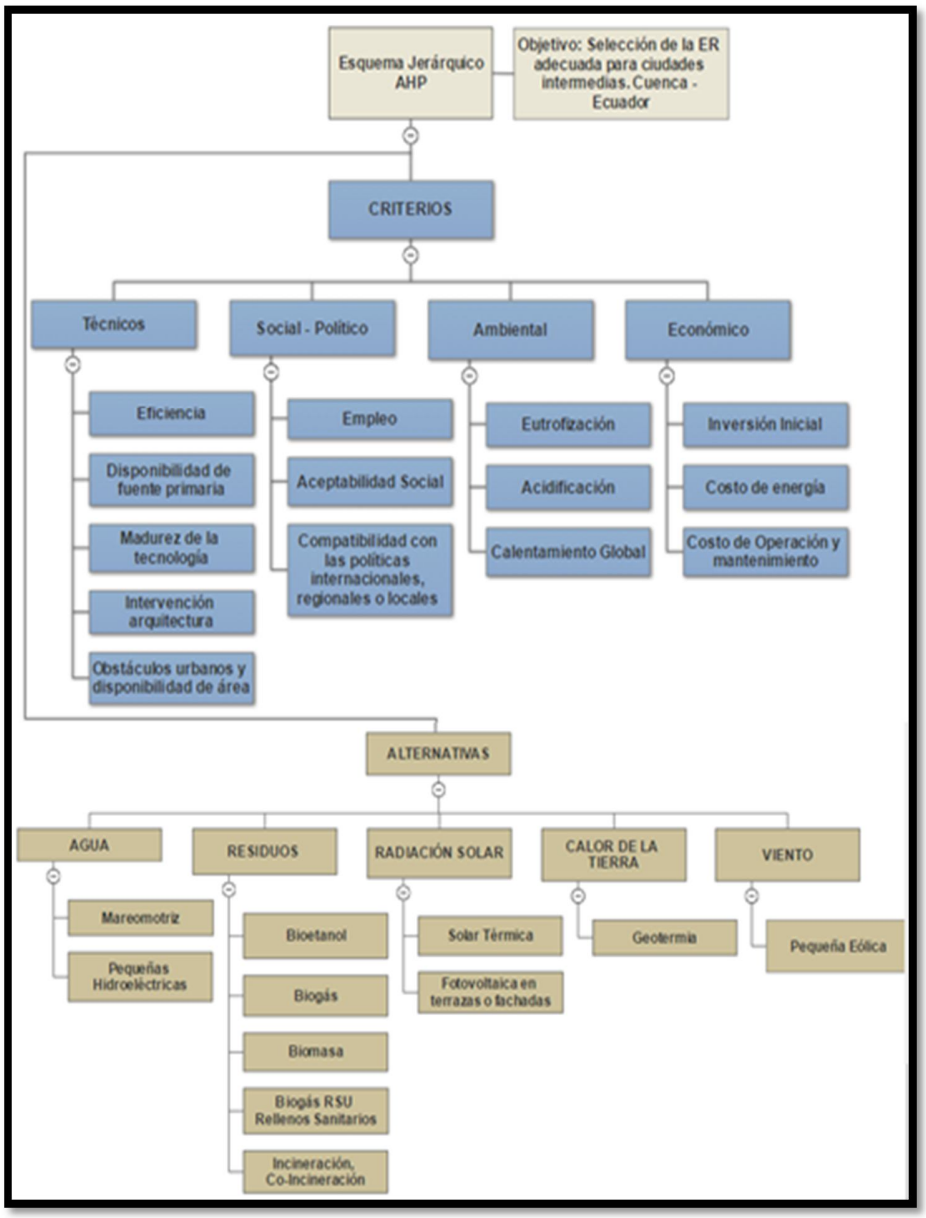


Ilustración 15 Esquema Jerárquico a emplearse en el estudio.
Fuente: El autor

3.2. Selección de alternativas

Las alternativas son las propuestas factibles por medio de las cuales se pretende alcanzar el objetivo general planteado. Cada una de las alternativas cuando con características positivas y negativas (Toskano, 2005).

La selección de alternativas está fundamentada en el estudio Sustainable cities: an analysis of the contribution made by renewable energy under the umbrella of urban metabolism realizado por Barragán & Terrados, (2017), en donde se proponen 11 tecnologías que son opciones de energía en diferentes ciudades.

Estas tecnologías tienen en común que pueden diseñarse utilizando los recursos que dispone o provienen de las ciudades, de tal forma que se promueva su metabolismo energético circular.

Las tecnologías seleccionadas se describen a continuación (Tabla 6):

Tabla 6 Descripción de las alternativas seleccionadas.

Alternativas	Descripción
Bioetanol	Se obtiene por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. Al ser mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión, que no requieren modificaciones.
Biomasa	Es referente a toda la materia orgánica que proviene de las plantas, árboles y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía. Incluyen leña; residuos de café; productos de aserradero como ramas, aserrín o cortezas; residuos agrícolas como estiércol de vaca, puerco, borrego, etc.; desechos urbanos como aguas negras y basura orgánica; y cultivos energéticos como el maíz, sembrados específicamente para uso energético.
Biogás	Es el producto de la digestión en condiciones anaerobias de materia orgánica. Para su producción se pueden emplear residuos de cultivos, estiércol y otros residuos del ganado o incluso residuos urbanos municipales, que sean biodegradables y se puedan transformar en metano o dióxido de carbono. Puede ser empleados para producción de calor y electricidad.
Incineración, co- incineración	La incineración es una tecnología de tratamiento de residuos que implica la quema de los residuos sólidos. La incineración convierte materiales de desecho, incluyendo papel, plásticos, gomas, maderas, restos de comida entre otros en cenizas, gases de combustión, contaminantes de aire y de las aguas residuales con el fin de obtener energía
Mareomotriz	Se obtiene aprovechando las mareas: mediante el uso de un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más segura y aprovechable.
Pequeña eólica	Es obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.
Geotermia	Se obtiene aprovechando el calor que existe en el interior de la Tierra. En el interior de la tierra, el núcleo es una masa incandescente que irradia calor desde el interior hacia el exterior, motivo por el cual según se profundice en la tierra la temperatura irá aumentando en una progresión de 2 a 4 ºC de temperatura por cada 100 metros.
Pequeña hidroeléctrica	Aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel. En su caída entre dos niveles del cauce, se hace pasar el agua por una turbina hidráulica que transmite energía a un generador eléctrico donde se transforma en energía eléctrica.
Fotovoltaica	Se obtiene directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato. Se usa para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, también permite alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos, abastecer refugios de montaña o viviendas aisladas de la red eléctrica.
Solar térmica	Consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.

Fuente: (González Velasco, 2009, Juana Sardón & Francisco García, 2009). Elaboración propia

3.3. Selección de criterios

Los criterios son medios por los que las diferentes alternativas se comparan entre sí sobre un determinado objetivo de la toma de decisiones multicriterio, además son considerados aspectos medibles del juicio al que se sujetan las alternativas. Primeramente se deben identificar y definir el conjunto de criterios para la evaluación en cada una de las etapas de decisión (Ochoa Ramón, 2009).

Barragán, Arias, & Terrados (2017) proponen 4 criterios y 14 sub – criterios , los mismo que fueron seleccionados por medio de una larga y exaustiva revisión bibliográfica, con el propósito de seleccionar la tecnología más adecuada para ciudades intermedias, específicamente para la ciudad de Cuenca.

A continuación en la Tabla 7, se deescriben los criterios y subcrieterios seleccionados.

Tabla 7 Descripción de los criterios seleccionados.

Criterio	Subcriterio	Descripción
Técnico	Eficiencia	Se basa en el valor que se obtiene entre la salida de de energía y la cantidad de energía contenida en la fuente. Mientras más cantidad de energía disponible, la eficiencia es mayor. Es de tipo cualitativo.
Técnico	Disponibilidad de fuente primaria	Hace referencia a la existencia de la energía primaria disponible para la tecnología dada. Es de tipo cualitativo.
Técnico	Madurez de la tecnología	Está dado por el nivel de desarrollo que tiene una tecnología concreta en un determinado tiempo de acuerdo al entorno en el que se desarrolla.
Técnico	Obstáculos urbanos y disponibilidad de área	Se basa en la disponibilidad de terreno con el que cuenta la ciudad para la implementación de la tecnología. Es de tipo cualitativo.
Técnico	Intervención arquitectura	La infraestructura actual de la ciudad se puede ver afectada por la infraestructura producida por la generación de energía. Este criterio está ligado al aspecto particular de cada ciudad y es considerado como cualitativo.
Económico	Inversión inicial	Hace referencia al coste total del equipo y maquinaria necesaria para el arranque del proyecto, así como de los gastos generados para la instalación y funcionamiento del sistema de generación.
Económico	Costo de operación y mantenimiento	Está dado por todos aquellos gastos relacionados al mantenimiento de los equipos como a las reparaciones en caso de fallos de los mismos durante su vida útil.
Económico	Costo de energía	El coste que va producir una unidad de energía. Se tiene como preferencial a las energías que generan menor valor monetario.
Ambiental	Calentamiento global	Hace referencia a las emisiones de gases que provocan el calentamiento global. Indica la cantidad de emisiones que genera en un ciclo de vida la tecnología. Es de tipo cuantitativo.
Ambiental	Acidificación	Es el descenso del pH de los océanos de la Tierra causados por la absorción de dióxido de carbono antropogénico desde la atmósfera. Indica la cantidad de emisiones durante la vida útil de la tecnología. Es de tipo cuantitativo
Ambiental	Eutrofización	El uso de combustibles fósiles produce óxidos de nitrógeno, causando la eutrofización debido al exceso de nutrientes depositado en el suelo o agua. Indica la cantidad de óxidos de nitrógeno en el ciclo de vida de la tecnología. Es de tipo cuantitativo
Socio político	Empleo	El grado de generación de empleo al implementar una diferente tecnología, mejorando la calidad de vida de las personas y estableciendo nuevos negocios.
Socio político	Aceptabilidad social	Hace referencia al grado de aceptabilidad que tiene la implementación de la nueva tecnología en relación a la comunidad beneficiada de la misma.
Socio político	Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales	La concordancia que se tiene con las políticas que rigen las Energías Renovables, su aplicación, uso y beneficio.

Fuente: (Barragán, Arias , & Terrados, 2017). Elaboración propia

3.4. Elaboración de matriz de decisión.

La matriz de decisión es el resumen de la evaluación de cada alternativa de acuerda a los criterios y sub – criterios seleccionados. La medida de evaluación está dada por la escala planteada por Saaty especificada anteriormente, la misma que permite dar una calificación numérica a una preferencia cualitativa (Rojas Zerpa, 2012). A continuación se puede apreciar un ejemplo de la matriz designada para el caso de estudio según el criterio: eficiencia. (Tabla 8).

Tabla 8 Matriz de decisión para criterio: eficiencia

- EFICIENCIA

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA

Alternativas	Importancia							Importancia							Alternativas
	Extrema (9)		Muy fuerte (7)	Fuerte (5)	Moderada (3)		Igual (1)	Moderada (3)	Fuerte (5)	Muy fuerte (7)	Extrema (9)				
Bioetanol															Biomasa
															Biogas
															Biogas RSU. Relleno Sanitarios
															Incineración, Co-incineración
															Mareomotriz
															Pequeña eólica
															Geotermia
															Pequeña hidroelectica
															Fotovoltaica en terrazas o fachadas
															Solar térmica
Biomasa															Biogas
															Biogas RSU. Relleno Sanitarios
															Incineración, Co-incineración
															Mareomotriz
															Pequeña eólica
															Geotermia
															Pequeña hidroelectica
															Fotovoltaica en terrazas o fachadas
															Solar térmica
Biogas															Biogas RSU. Relleno Sanitarios
															Incineración, Co-incineración
															Mareomotriz
															Pequeña eólica
															Geotermia
															Pequeña hidroelectica
															Fotovoltaica en terrazas o fachadas
															Solar térmica
Biogas RSU. Relleno Sanitarios															Incineración, Co-incineración
															Mareomotriz
															Pequeña eólica
															Geotermia
															Pequeña hidroelectica
															Fotovoltaica en terrazas o fachadas
															Solar térmica

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA

Alternativas	Importancia						Importancia						Alternativas
	Extrema (9)	Muy fuerte (7)	Fuerte (5)	Moderada (3)		Igual (1)	Moderada (3)	Fuerte (5)	Muy fuerte (7)	Extrema (9)			
Incineración, Co-incineración													Mareomotriz
													Pequeña eólica
													Geotermia
													Pequeña hidroelectica
													Fotovoltaica en terrazas o fachadas
													Solar térmica
Mareomotriz													Pequeña eólica
													Geotermia
													Pequeña hidroelectica
													Fotovoltaica en terrazas o fachadas
													Solar térmica
Pequeña eólica													Geotermia
													Pequeña hidroelectica
													Fotovoltaica en terrazas o fachadas
													Solar térmica
Geotermia													Pequeña hidroelectica
													Fotovoltaica en terrazas o fachadas
													Solar térmica
Pequeña hidroelectica													Fotovoltaica en terrazas o fachadas
													Solar térmica
Fotovoltaica en terrazas o fachadas													Solar térmica

Fuente: El autor

3.5. Asignación de pesos.

La asignación de pesos pretende obtener la estimación de preferencia de los criterios y sub – criterios definidos en este estudio (Rojas Zerpa, 2012). La metodología propuesta en este trabajo requiere la participación de un grupo de experto con diferentes opiniones sobre las ER y con el conocimiento suficiente sobre la ciudad de Cuenca.

Según lo establecido por Gómez, Méndez, Méndez, Ortiz, & Turriago (2008), en el estudio "*Metodología basada en proceso de jerarquía analítica (AHP) para seleccionar cadenas productivas que buscan soluciones de automatización a bajo costo"*, la metodología de AHP requiere un grupo de expertos conformado por 7 a 15 personas de tal manera que se pueda establecer un nivel elevado de confianza y calificación. Al igual que Haddah et al. (2017), en su estudio " A *multi-criteria approach to rank renewables for the Algerian electricity system"* indican que para su estudio se contó con la participación de un grupo de 11 expertos en el tema de energía política en Argelia. Otro ejemplo del número de expertos necesarios para la aplicación de la técnica AHP está dado por el estudio "*Evaluating the Best Renewable Energy Technology for Sustainable Energy Planning"* realizado por Demirtas (2013), donde se establece un número de 10 personas expertas en temas relacionados con el sector energético.

Dentro de este estudio, se entregaron 13 encuestas de las cuales se contó con la participación de 12 expertos en energías renovables y temas ambientales así como también conocedores del tema energético (Tabla 9).

Tabla 9 Perfil de expertos

PERFIL DE LOS EXPERTOS				
ID	**Profesión**	**Actividad principal**	**Perfíl Académico**	**Lugar de trabajo**
AB	Ing. Eléctrico	Docente/Investigador	Msc. Energias Renovables	UPS
DI	Ing. Ambiental	Jefe de Gestión Ambiental y Responsabilidad Social	Msc. Salud Ocupacional y Seguridad en el Trabajo	CELEC EP
EZ	Arquitécto	Docente/Investigador	PhD. Arquitectura y Urbanismo	Universidad de Cuenca
JC	Ing. Civil	Docente/Investigador		UPS
JC	Ing. Eléctrico	Docente/Investigador		Universidad de Cuenca
JE	Ing. Eléctrico	Docente/Investigador	PhD. Energía y Ambiente	Universidad de Cuenca
JJ	Ing. Eléctrico	Planificación energética	PhD. Energías Renovables	CELEC EP
JR	Ing. Eléctrico	Docente/Investigador		UPS
JR	Ing. Electrónico	Jefe Servicio Técnico		SOCELEC S.A.
JS	Ing. Eléctrico	Planificación energética	Msc. Integración de las ER en los sistemas eléctrico	ELECAUSTRO S.A.
MM	Ing. Químico	Consultoría Ambiental	Msc. Agronomía y Medio Ambiente	Cartopel S.A.
PA				
XS	Ing. Eléctrico	Docente/Investigador	Msc. Energias Renovables	UPS

Fuente: El autor

La encuesta estaba dividida en tres partes

- la primera parte estaba conformada por una explicación breve de lo que se requiere y de la metodología usada para la evaluación
- en la segunda parte estaba colocado el modelo jerárquico aplicado a este estudio (Ilustración 15) y la Tabla 7 para mejor entendimiento.
- La última parte de la encuesta estaba conformada por cada una de las matrices establecidas para cada criterio, así como también las matrices establecidas para la valoración de pesos de los criterios.

El tiempo estimado para completar la encuesta fue de una hora con 45 minutos lo que generaba serios inconvenientes. Uno de los principales problemas que se presentaron fue el tiempo que cada experto se tomaba en llenar la encuesta, el mismo que variaba entre una y dos semanas. Otro problema se debe a que la asignación de pesos en algunas encuestas no está enfocada en la zona urbana de Cuenca, sino tiene una valoración de manera global. La encuesta provocaba inconformidad por parte de los expertos que no consideraban necesaria la evaluación de ciertos criterios y alternativas.

Para obtener la consistencia deseada se requiere un alto nivel de conocimiento sobre cada alternativa y criterio planteado. Generando otro dificultad debido a que no se cuenta con el número suficiente de expertos en el tema sumado a la indisponibilidad de tiempo de los mismos.

Existen dos métodos de ponderación para la obtención de pesos sobre las preferencias de los decisores: de igual peso y los pesos en un rango de orden. Para el presente estudio se utilizó el segundo método de ponderación, el mismo que depende únicamente de la preferencia de los decisores (ponderación subjetiva) por lo que obliga que los decisores sean especialistas en el tema. Además esta ponderación exige una participación directa con los decisores por medio de la aplicación de cuestionarios obteniendo así datos confiables.

El Anexo 1 muestra la encuesta aplicada a los expertos para la obtención de pesos de alternativas y criterios.

3.6. Desarrollo de la priorización

La priorización consiste en valor numérico a cada alternativa derivada de las comparaciones pareadas con respecto a cada uno de los criterios (Pérez, 2010).

Como se mencionó anteriormente, la metodología está basada en 4 criterios: ambiental, social, económico y técnico; de los cuales se despliegan 14 sub-criterios de la misma manera se consideraron 11 alternativas que permiten alcanzar los objetivos propuestos. Barragán et al. (2017) estableció la siguiente nomenclatura (Tabla 10 y Tabla 11):

Tabla 10 Determinación de nomenclatura para criterios.

	Sub - criterios	Criterios
c1	Eficiencia	Técnico
c2	Disponibilidad de fuente primaria	
c3	Madurez de la tecnología	
c4	Obstáculos urbanos y disponibilidad de área	
c5	Intervención arquitectura	
c6	Inversión inicial	Económico
c7	Costo de operación y mantenimiento	
c8	Costo de energía	
c9	Calentamiento global	Ambiental
c10	Acidificación	
c11	Eutrofización	
c12	Empleo	Socio - político
c13	Aceptabilidad social	
c14	Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales	

Fuente: El autor

Tabla 11 Determinación de nomenclatura para alternativas

Alternativas	
a1	Bioetanol
a2	Biomasa
a3	Biogás
a4	Biogás RSU
a5	Incineración, co- incineración
a6	Mareomotriz
a7	Pequeña eólica
a8	Geotermia
a9	Pequeña hidroeléctrica
a10	Fotovoltaica
a11	Solar térmica

Fuente: El autor

Para comprender de mejor manera, se tomará como ejemplo el sub-criterio "Eficiencia", el cual pertenece al grupo de los criterios técnicos partiendo desde la matriz de juicios (Tabla 12), la misma que fue elaboró por medio de un promedio realizado a las 12 encuestas que se basaron en: *si se considera de mayor importancia las alternativas ubicadas a lado izquierdo de la matriz de decisión la valoración va ubicada de este lado, sin embargo si se considera de mayor importancia a la alternativa ubicada a lado derecho, la valoración va ubicada de este lado; considerando el sub-criterios eficiencia*.

Tabla 12 Juicios obtenidos por promedio sobre el sub - criterio "eficiencia"

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
a1	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	3.00	0.20	1.00	0.33
a2	0.50	1.00	2.00	0.20	1.00	2.00	1.00	2.00	0.20	0.25	1.00
a3	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	2.00	0.50	1.00	0.20	0.33	0.50
a4	1.00	5.00	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	0.33	0.33	0.50
a5	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.50
a6	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.33	0.33
a7	1.00	1.00	2.00	0.50	1.00	1.00	1.00	3.00	0.33	1.00	1.00
a8	0.33	0.50	1.00	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	0.17	0.25	0.50
a9	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	2.00	3.00	6.00	1.00	3.00	4.00
a10	1.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	4.00	0.33	1.00	2.00
a11	3.00	1.00	2.00	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00	0.25	0.50	1.00

Fuente: El autor

Posteriormente, para calcular las prioridades obtenidas en este sub – criterio, es necesario sumar los elementos de cada columna obtenidos de la matriz anterior (Tabla 13):

Tabla 13 Sumatoria por columnas

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
a1	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	3.00	0.20	1.00	0.33
a2	0.50	1.00	2.00	0.20	1.00	2.00	1.00	2.00	0.20	0.25	1.00
a3	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	2.00	0.50	1.00	0.20	0.33	0.50
a4	1.00	5.00	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	0.33	0.33	0.50
a5	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.50
a6	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.33	0.33
a7	1.00	1.00	2.00	0.50	1.00	1.00	1.00	3.00	0.33	1.00	1.00
a8	0.33	0.50	1.00	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	0.17	0.25	0.50
a9	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	2.00	3.00	6.00	1.00	3.00	4.00
a10	1.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	4.00	0.33	1.00	2.00
a11	3.00	1.00	2.00	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00	0.25	0.50	1.00
∑col.	**15.3**	**21.5**	**21.5**	**13.0**	**15.0**	**21.0**	**12.8**	**27.0**	**3.9**	**8.3**	**11.7**

Fuente: El autor

Para obtener la matriz normalizada es necesario dividir cada uno de los elementos para el total de la suma por cada columna (Tabla 14).

Tabla 14 Matriz Normalizada

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
a1	0.07	0.09	0.05	0.08	0.07	0.10	0.08	0.11	0.05	0.12	0.03
a2	0.03	0.05	0.09	0.02	0.07	0.10	0.08	0.07	0.05	0.03	0.09
a3	0.07	0.02	0.05	0.04	0.03	0.10	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
a4	0.07	0.23	0.09	0.08	0.07	0.10	0.16	0.11	0.09	0.04	0.04
a5	0.07	0.05	0.09	0.08	0.07	0.10	0.08	0.04	0.09	0.04	0.04
a6	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.05	0.08	0.04	0.13	0.04	0.03
a7	0.07	0.05	0.09	0.04	0.07	0.05	0.08	0.11	0.09	0.12	0.09
a8	0.02	0.02	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
a9	0.33	0.23	0.23	0.23	0.20	0.10	0.23	0.22	0.26	0.36	0.34
a10	0.07	0.19	0.14	0.23	0.20	0.14	0.08	0.15	0.09	0.12	0.17
a11	0.20	0.05	0.09	0.15	0.13	0.14	0.08	0.07	0.06	0.06	0.09

Fuente: El autor

Para terminar, se promedian los valores de cada fila de la matriz normalizada obteniendo el vector de prioridades (Tabla 15):

Tabla 15 Vector de prioridades del sub - criterio eficiencia

a1	0.08
a2	0.06
a3	0.05
a4	**0.10**
a5	0.07
a6	0.05
a7	0.08
a8	0.04
a9	**0.25**
a10	**0.14**
a11	**0.10**

Fuente: El autor

Los promedios obtenidos indican que para el sub – criterio eficiencia, la alternativa más adecuada es la *pequeña hidroeléctrica (a9)* debido a su alto rendimiento.

La metodología AHP requiere medir el grado de consistencia de las respuestas por lo que se aplican las siguientes formulas (Ecuaciones 1, 2 y 3), como se indicaba anteriormente:

$$IA = \frac{1.98\,(n-2)}{n} = \frac{1.98\,(11-2)}{11} = 1.62$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{11.36 - 11}{11-1} = 0.04$$

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0.04}{1.62} = 0.02$$

Para el sub – criterio "eficiencia", la razón de consistencia es correcta debido a que es inferior a RC $\leq$ 0.10, cumpliendo así uno de los requerimientos específicos de la metodología. El mismo procedimiento aplicado anteriormente se realiza para cada uno de los sub – criterios establecidos obteniendo los siguientes resultados (Tabla 16):

Tabla 16 Vectores de prioridades obtenidos a partir de cada sub – criterio

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14
c1	1.00	0.33	2.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00
c2	3.00	1.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00
c3	0.50	0.33	1.00	3.00	2.00	1.00	1.00	0.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00
c4	1.00	0.33	0.33	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00
c5	0.33	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00
c6	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00
c7	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00
c8	1.00	0.50	2.00	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00
c9	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00
c10	0.33	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
c11	0.33	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
c12	0.50	0.33	0.50	2.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00
c13	0.50	0.25	1.00	1.00	1.00	0.50	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	3.00
c14	0.33	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33	1.00
∑col.	**10.7**	**5.8**	**14.8**	**18.0**	**20.0**	**12.8**	**12.8**	**10.7**	**23.0**	**23.0**	**24.0**	**20.0**	**23.3**	**24.0**

Fuente: El autor

De igual manera se obtiene el vector de prioridad para conocer los pesos de cada sub –criterio (Tabla 17):

Tabla 17 Vector de prioridad de sub – criterios

c1	**0.11**
c2	**0.16**
c3	0.08
c4	0.06
c5	0.06
c6	0.08
c7	0.08
c8	**0.10**
c9	0.05
c10	0.04
c11	0.04
c12	0.05
c13	0.05
c14	0.04

Fuente: El autor

Finalmente, se calcula la priorización global de las alternativas del problema planteado por medio de la multiplicación entre cada fila de la matriz obtenida de los vectores de prioridades de las alternativas de cada sub – criterio por la columna del vector prioridad de los sub – criterios. Dando lugar a los siguientes resultados (Tabla 18):

Tabla 18 Priorización global de alternativas

a1	0.07
a2	**0.10**
a3	0.08
a4	**0.10**
a5	0.07
a6	0.04
a7	0.09
a8	0.07
a9	**0.14**
a10	**0.12**
a11	**0.10**

Fuente: El autor

En la sección Anexo, se indican cada una de las matrices obtenidas por cada uno de los sub - criterios establecidos además de su razón de consistencia.

3.7. Toma de decisiones

Una vez obtenidas todas las matrices de comparaciones pareadas con ayuda del juicio de los expertos se estableció lo siguiente:

Tabla 19 Valoración global de importancia de sub – criterios

Nomenclatura	Sub - criterio	VP	RC
c1	Eficiencia	0.11	0.02
c2	Disponibilidad de fuente primaria	0.16	0.06
c3	Madurez de la tecnología	0.08	0.06
c4	Obstáculos urbanos y disponibilidad de área	0.06	0.10
c5	Intervención arquitectura	0.06	0.10
c6	Inversión inicial	0.08	0.09
c7	Costo de operación y mantenimiento	0.08	0.07
c8	Costo de energía	0.10	0.04
c9	Calentamiento global	0.05	0.01
c10	Acidificación	0.04	0.07
c11	Eutrofización	0.04	0.07
c12	Empleo	0.05	0.02
c13	Aceptabilidad social	0.05	0.06
c14	Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales	0.04	0.02

Fuente: El autor

Como indica la Tabla 19, el sub – criterio que cuenta con la priorización global más alta es: *disponibilidad de la fuente (c2) con un porcentaje del 16%*, seguido por *eficiencia (c1) con una valoración del 11%* y en tercer lugar se ubican el sub – criterios *costo de energía (c8)*.

La Tabla 20 muestra priorización global de las alternativas. Las principales alternativas que se ajustan a la problemática establecida en este estudio son:

Para generación eléctrica: pequeña hidroeléctrica y fotovoltaica

Para generación de calor: biogás proveniente de desechos urbanos y solar térmica

Tabla 20 Valoración global de importancia de alternativas

Nomenclatura	Alternativa	VP
a1	Bioetanol	0.07
a2	Biomasa	0.10
a3	Biogás	0.08
a4	Biogás RSU	0.11
a5	Incineración, co-incineración	0.07
a6	Mareomotriz	0.04
a7	Pequeña eólica	0.09
a8	Geotermia	0.07
a9	Pequeña hidroeléctrica	0.14
a10	Fotovoltaica	0.12
a11	Solar térmica	0.10

Fuente: El autor

4. Resultado y discusión

Las ER se obtienen a partir de recursos naturales tales como la luz solar, el viento o el agua. Estas tecnologías permiten satisfacer las necesidades energéticas; conjuntamente ayudan a la generación de empleos contribuyendo a la economía de la zona beneficiaria del recurso (Demirtas, 2013).

Actualmente, el sistema energético mundial se fundamenta en la utilización de recursos fósiles presentando una serie de problemas como son: el deterioro ambiental, la escases de los recursos energéticos y la centralización del modelo energético tradicional (Terrados & Almonacid, n.d.). Por lo tanto, se requiere un modelo de planificación energética sostenible que permita mantener un equilibro entre el crecimiento económico, protección ambiental y la aceptabilidad social; garantizando una mejora en la calidad de vida para los habitantes de las ciudades sin comprometer a las generaciones futuras (Trigueros & Vázquez, n.d.).

La planificación energética territorial (PET), es una metodología que visualiza la situación energética actual de una ciudad y permite crear escenarios futuros asegurando la eficiencia, suministro y la disminución de emisiones. Los principales objetivos de la PET es: i) reducir el consumo energético de las ciudades, ii) bajar las emisiones de CO_2, iii) incrementar el uso de las ER y iiii) solucionar los problemas energéticos de las zonas alejadas del perímetro urbano (Trespalacios, 2015).

Las ciudades son consideradas intermedias no solo por el espacio demográfico que utilizan; sino principalmente, por las funciones que cumplen. Las ciudades intermedias desempeñan el papel de mediación en los flujos (bienes, innovación, información, energía, administración, etc.) entre la zona rural y el área urbana, además son mediadoras entre los espacios locales, regionales y globales (Bellet & Llop, 2004). La información que va de

acuerdo al consumo energético total en estas ciudades es nula por lo que se propone un estudio comparativo de consumo energético entre las ciudades intermedias o pequeña (Jaramillo, 2017).

La toma de decisiones está presente en el diario vivir, en algunas ocasiones es más compleja por lo que requiere un análisis más profundo. Este análisis permite considerar aspectos que tradicionalmente están desvalorizados como es la participación social o el cuidado ambiental cuando se habla de implementación de nuevos proyectos. Sin embargo, es necesario considerar todos los aspectos ya que estos proyectos una vez en vigencia tienen consecuencias positivas o negativas a largo plazo.

Por esta razón, el análisis multicriterio (MCDA) es una herramienta bastante útil y explicativa en los procesos de planificación energética. En este caso, permiten optar por la mejor opción de alternativa energética evaluando un grupo específico de alternativas comparables bajo criterios previamente establecidos y considerando el juicio de los expertos.

Los métodos de decisión multicriterio (MCDA) se han usado ampliamente en problemas generados por la planificación energética, existen varios métodos que son usados con frecuencia: PROMETHEE, ELECTRE, la teoría de la utilidad multi – atributo (MAUT), métodos difusos y sistemas de soporte de decisiones (DSS). Sin embargo, la metodología usada por la técnica AHP es la más popular en temas energéticos. Su popularidad está basada en la facilidad de transformar problemas complejos en una jerarquía flexible, además permite mezclar atributos cualitativos y cuantitativos siempre y cuando tengan el mismo criterio de decisión. El método se utiliza para problemas de asignación de recursos energéticos, planificación energética de ER y transporte,

planificación de proyectos para servicios eléctricos (Amarilla, Ojeda, García, & Blanco, 2014).

Según lo establecido por Guerrero & Faxas (2015), la técnica multicriterio AHP es la más adecuada para tomar la mejor alternativa cuando se trata de una problemática relacionada con las ER; siendo un método eficaz y beneficioso. Además, la aplicación de energías renovables no solo está ligada a la zona rural de las ciudades, sino también tiene una amplia gama de utilización dentro de la zona urbana (Ruiz & Rodrı, 2006).

La técnica AHP es considerada una herramienta potencial debido a que se adapta fácilmente a los problemas energéticos provocados por la mala planificación. La metodología permite obtener resultados de acuerdo a la experiencia y preferencia de los expertos. La comparación binaria permite un mejor entendimiento a los expertos que no están relacionados con la técnica, además disminuye la complejidad del enfoque. AHP es una técnica que garantiza la fiabilidad de los resultados, midiendo su consistencia. Como resumen, la técnica es aplicable en sistemas de energía brindando la mejor opción de ER de acuerdo a los criterios basados de acuerdo a la sostenibilidad y el interés público (Haddah et al., 2017)

Según Jurado (2015), la metodología AHP ha sido la base de diferentes estudios relacionados con ER; además menciona como ejemplo a la ciudad de Estambul localizada en Turquía, en donde se evaluó la selección de la mejor alternativa de energía renovable de acuerdo a su ubicación y sin comprometer las necesidad futuras de la ciudad. El resultado de la evaluación determina a la energía eólica como la más apta bajo las condiciones establecidas seguida por alternativas energéticas como la solar, biomasa, geotérmica e hidráulica. La aplicación de esta propuesta ha sido de gran éxito.

Según Barragán & Terrados (2017), las alternativas aplicables a las ciudades dependen principalmente del uso final y la disponibilidad en el área. Además establecen que no existe una metodología específica que permita conocer cuál es la mejor opción de ER para una determinada ciudad. Lo que se pretende principalmente es satisfacer la demanda energética usando las ER seleccionadas de acuerdo a la zona estudiada.

El estudio realizado en la ciudad de Argelia por Haddah et al. (2017) especifica que los estudios multicriterio solo representan una solución que combina cada uno de los criterios analizados brindando la mejor opción de respuesta al problema planteado. Tambien que la metodología AHP combinada con los juicios de expertos son una gran herramienta que permite la correcta elaboración de nuevas políticas públicas. Sin embargo, la solución esta estrechamente ligada a las condiciones de las ciudades consideradas en el estudio. Por ejemplo en Argelia, la ER más aplicable es la energía solar obteniendo los mayores porcentajes tanto en la priorización global como en la obtención de pesos por sub – criterios. La segunda mejor opción es la energía eólica planteada con un uso final de producción de energía electrica. En los siguientes lugares se encuenta la energía geotérmica y la biomasa planteada como una excelente alternativa ambiental debido a su relacion con los residuos de la zona.

Barragán et al. (2017) aplicaron la técnica multicriterio PROMETHEE para evaluar la mejor alternativa de ER aplicable a la ciudad de Cuenca de entre 8 propuestas, obteniendo como resultado: en primer lugar la energía solar térmica seguida por fotovoltaica, hidroeléctrica, biogás RSU, biomasa, viento e incineración. Además establece que los sub – criterios con mayor preferencia son los que pertenecen al aspecto técnico, seguidos por los sociales y finalmente por los económicos.

Los problemas energéticos que se presentan por el crecimiento de la ciudad justifica la elaboración de este proyecto, seleccionando la mejor alternativa de ER basados en criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales para el abastecimiento energético por medio de la aplicación de la técnica AHP. Esta metodología permitió evaluar las consecuencias de tomar una decisión desde distintos contextos y perspectivas.

Los principales pasos que se siguieron en este proyecto fueron:

1. Planteamiento del problema
2. Selección de alternativas
3. Selección de criterios
4. Asignación de pesos por medio del juicio de expertos
5. Toma de decisiones

Los resultados finales de las alternativas plateadas sugieren que la mejor alternativa es la energía hidroeléctrica con un porcentaje del 14%, seguida por la energía fotovoltaica con un 12% y en tercer lugar el biogás RSU con un 11%.

- Como mejor alternativa de ER para la ciudad de Cuenca, basada en el juicio de los expertos, en primer lugar se encuentra la pequeña hidroeléctrica. La selección de esta ER se debe a la disponibilidad del recurso, además cuenta con una amplia aceptabilidad social y en térmicos económicos, esta energía genera un bajo costo final y un alto nivel de eficiencia. La energía hidroeléctrica fue considera como una de las mejores opciones en la valoración individual de cada criterio establecido.
- En segundo lugar, se encuentra la energía fotovoltaica. Esta energía tiene un alto nivel de importancia debido a que los expertos reconocen que, a pesar de su impacto ambiental durante la construcción de las celdas fotovoltaicas, una vez en

funcionamiento no provoca un mayor impacto ambiental, además; dentro de la ciudad de Cuenca, la disponibilidad de energía solar es bastante alta como se demuestran en el estudio realizado por Barragán, Terrados, Zalamea, & Arias, (2017)

- En tercer lugar, se encuentra la energía obtenida por biogás proveniente del relleno sanitario, la mayor importancia de esta alternativa se obtiene en los criterios técnicos y en el sub – criterio "compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales". La alta valoración de los expertos para esta alternativa está ligada principalmente a la disponibilidad del recurso en la zona y a la eficiencia que se obtiene de ella.

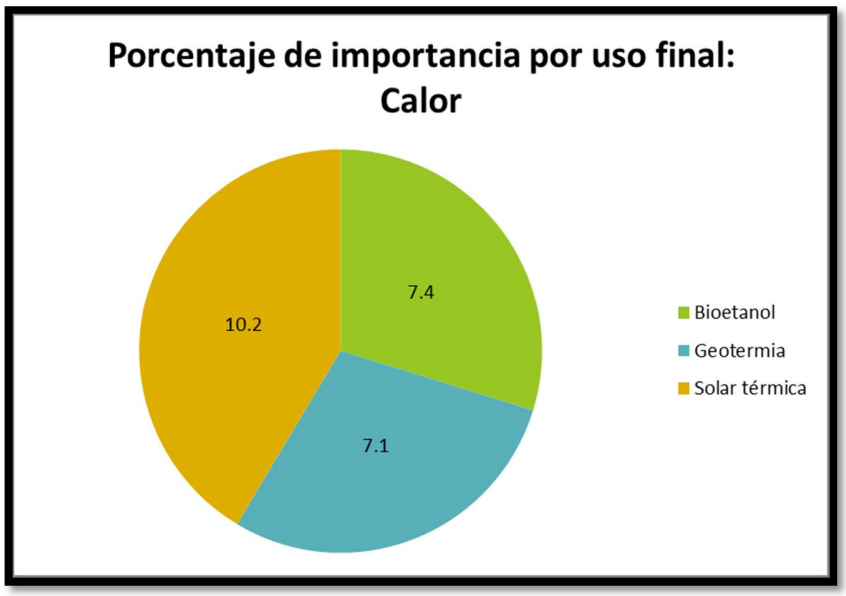


Ilustración 16 Importancia para cada alternativa de acuerdo al uso final: Calor
Fuente: El autor

Como indica la Ilustración 16, la alternativa de energía renovable con mayor asignación de peso designado por los expertos es el biogás de RSU con un 10.5% considerando que el uso final de esta energía está destinado a la calefacción; está

asignación de pesos como se indicó anteriormente está de acuerdo a las condiciones que presenta la zona urbana de Cuenca. En segundo lugar, se encuentra la energía solar térmica con un porcentaje de 10.2%, cuenta con una alta aceptabilidad social pero de acuerdo a los criterios económicos se encuentra dentro de las ultimas opciones energéticas aplicables a la zona de estudio. La biomasa ocupa el tercer lugar, con un porcentaje del 9.8% teniendo una alta disponibilidad en la zona; sin embargo, cuanta con la asignación de pesos más bajos otorgados de acuerdo a los criterios ambientales estudiados.

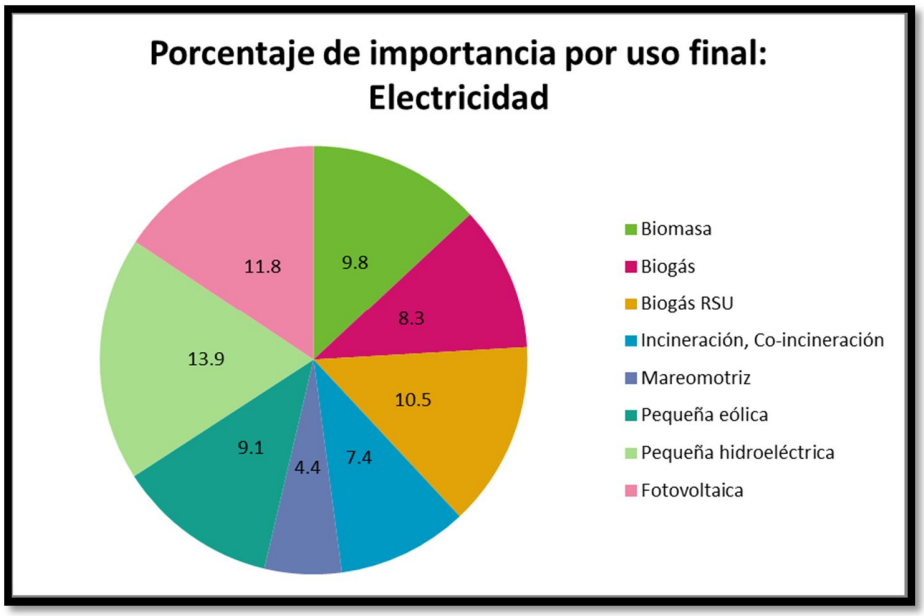


Ilustración 17 Importancia por cada alternativa de acuerdo al uso final: Electricidad
Fuente: El autor

La Ilustración 17 demuestra que para la zona urbana de Cuenca, la energía eléctrica producida por la pequeña hidroeléctrica es la más apta, obteniendo el mayor peso en cada sub – criterio analizado en el presente estudio. La jerarquía de los porcentajes obtenidos está de acuerdo a la priorización global indicada anteriormente.

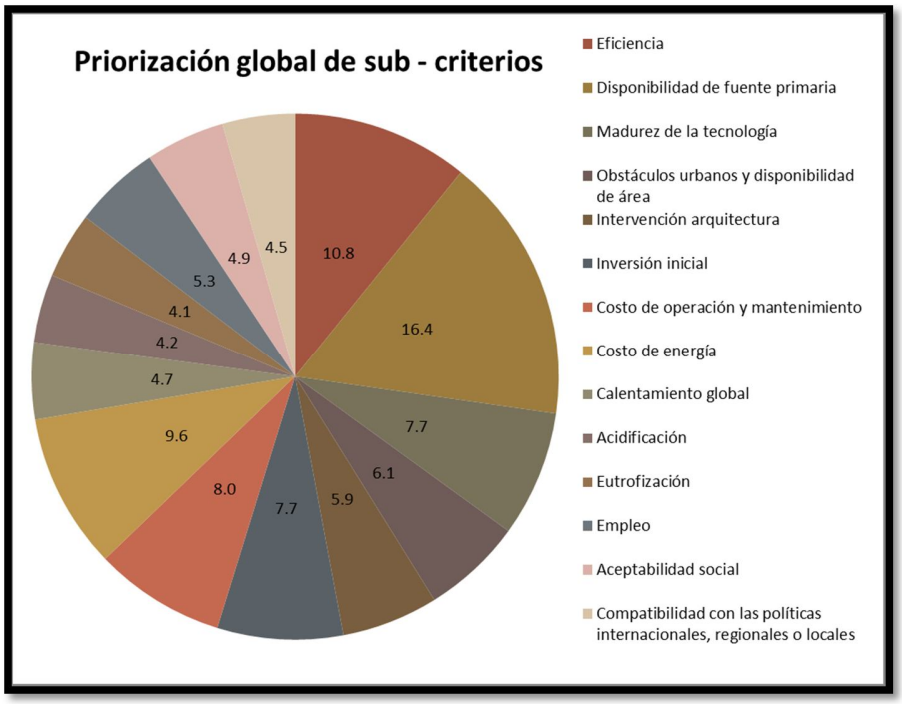


Ilustración 18 Porcentaje de priorización global de sub - criterios
Fuente: El autor

De acuerdo a la Ilustración 18, los sub - criterios más importantes de acuerdo a la experiencia de los expertos son: i) disponibilidad de la fuente con una importancia de 16.4%, ii) eficiencia con un porcentaje de 10.8% y iii) costo de energía con el 9.6 % de importancia. Además, nos indica que compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales, acidificación, eutrofización son los sub – criterios con menor importancia, contando con un porcentaje del 4.5%, 4.2% y 4.1% respectivamente.

La Ilustración 19 nos muestra que los criterios técnicos tienen la valoración más alta de acuerdo a los expertos, cuentan con un porcentaje del 47.1% seguidos por los criterios económicos con un porcentaje de importancia del 25.3%, en tercer lugar están ubicados los criterios sociales con un 14.6% de importancia y en último lugar se encuentran los criterios ambientales, con una importancia del 13%.

- Dentro de los criterios técnicos, el sub – criterio más relevante es la disponibilidad de la fuente (16.4%)
- De acuerdo a los criterios económicos, el sub – criterio más importante es el costo de energía final (9.6%).
- Dentro de los criterios socio – políticos, el sub – criterio con mayor importancia es el empleo (5.3%).
- De acuerdo a los criterios ambientales, el sub – criterio con mayor nivel de importancia es el calentamiento global (4.7%).

Podemos decir también que para este estudio los criterios considerados con mayor importancia bajo la valoración de los expertos son: técnicos y económicos. Estos criterios cuentan con un porcentaje de 72.4%.

Uno de los principales problemas que se encuentra en estos estudios es que las alternativas energéticas más atractivas para los ciudadanos son las que generan menos costo de inversión y de enegía final. Así mismo, se genera otro dilema cuando se considera la disponibilidad de espacio y la arquitectura de la zona. A pesar de que las oportunidades de generacion de empleo dentro de la ciudad vuelven atractivas las tecnologías, no cuenta con una asignación de peso alta debido a que no son fabricantes de técnología de ER sino solo importadores. Los criterios ambientales cuentan con un bajo nivel de importancia debido a que los habitantes de la zona por la baja concientización que existe actualmente (Barragán, Terrados, et al., 2017).

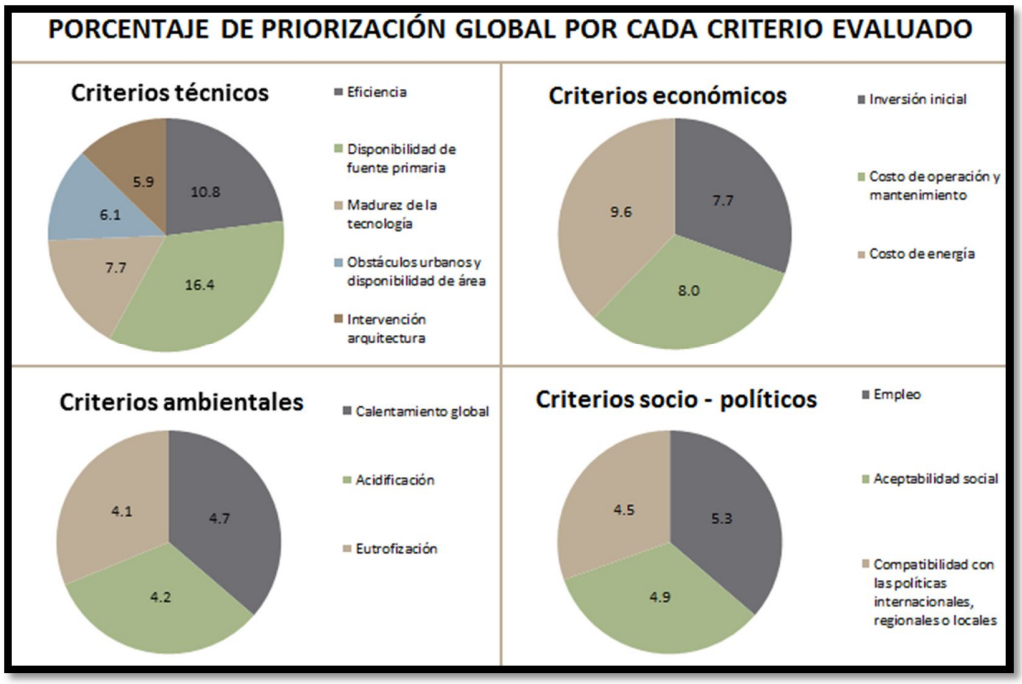


Ilustración 19 Porcentaje de priorización global de criterios
Fuente: El autor

Barragán, Terrados, et al., (2017), en su estudio Electricity production using renewable resources in urban centres, realizado en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, establecen que la alternativa con mayor peso asignado es la energía fotovoltaica, seguida por la pequeña hidroeléctrica y a continuación el biogás proveniente de desechos urbanos. Además, por las condiciones de la ciudad, la energía fotovoltaica sería adecuada ya que se necesitaría un total de 46% de ocupación superficial para satisfacer la demanda; de igual manera las demandas energéticas y la radiación solar se mantienen constantes debido a la falta de cambio de estaciones en Cuenca. La ciudad cuenta con un amplio recurso hídrico gracias a que está atravesada por cuatro ríos en donde, hay la posibilidad de construcción de pequeñas hidroeléctricas. Por los proyectos actuales que se lleva a cabo dentro de la ciudad referente a la producción de biogás proveniente de desechos urbanos, de igual modo, esta alternativa energética es viable debido a que tiene la capacidad de cubrir la demanda energética de la ciudad en un porcentaje del 1 al 2% (Barragán, Terrados, et al., 2017).

Barragán, Terrados, et al., (2017) fundamentan que el costo calculado de pago por la obtención de energía electrica a través de estas fuentes aumentaría; por lo que es necesario contar con un subsidio por parte del gobiernos, permitiendo de esta manera la aplicabilidad de las ER dentro de la ciudad. La planificación energética a futuro es esencial para lograr la implementación de ER ya que actualmente la ciudad no cuenta con la infraestructura adecuada.

Sin embargo, Barragán et al. (2017) también detallan que las técnicas multicriterios permiten comparar varias alternativas teniendo como base un grupo de criterios previamente establecidos ya sean cualitativos o cuantitativos. No obstante, cuando se obtienen los resultados de cada una de estas técnicas es probable que los resultados sean diferentes, pero no erróneos. Esto se justifica debido a que cada una de las metodologías es diferente y tienen su propia forma de aplicación.

Sin embargo, se vuelve necesario recalcar que la disminución del uso de energía per cápita en la zona de estudio es bastante complicada debido a que el mayor consumo de energía se da por el transporte y no por consumo de electricidad o por calefacción.

La posibilidad de combinar las tres principales tecnologías obtenidas, brinda una estrategia que permite equilibrar los criterios seleccionados desde el enfoque de sostenibilidad para la ciudad de Cuenca. Además la mezcla de estas ER podría garantizar la eficiencia energética destinada a la zona urbana de la ciudad. Además, permiten la mejora de calidad de vida de los habitantes brindando nuevas oportunidades laborales.

5. Conclusiones

- La principal contribución de este trabajo es que por primera vez se aplica la metodología AHP para la planificación energética dentro de la ciudad; el principal objetivo del trabajo estaba basado en la selección de la mejor ER para la zona urbana de Cuenca. Para lo cual se volvió indispensable conocer el concepto de una ciudad intermedia y a su vez también cuales son los ODS que fueron establecidos para el crecimiento sostenible de las mismas.
- Las metodologías multicriterios ayudan directamente a los problemas generados por la mala planificación energética en ciudades pequeñas e intermedias, brindándoles una oportunidad de desarrollarse bajo un concepto adecuado de sostenibilidad de acuerdo a sus recursos propios.
- La valoración de pesos asignada por los expertos en la encuesta aplicada es fiable debido a que todas las asignaciones están por debajo del límite permitido de error de acuerdo al índice de consistencia aplicado para la metodología usada.
- Con la valoración de los 14 sub – criterios y las 11 alternativas fue posible determinar cuáles son los de mayor importancia para para inclusión de las ER dentro de la planificación energética de la ciudad.
- El estudio muestra una amplia concordancia entre los resultados obtenidos de criterios y alternativas, debido a que las ER resultantes son aptas según las condiciones de la ciudad. La pequeña hidroeléctrica es la energía más aplicable, debido a que Cuenca cuenta con gran flujo hídrico además es la más estable respecto a que la radiación solar, ya que la misma es intermitente y la energía obtenida por medio de los desechos urbanos no cubre completamente la demanda energética de la zona.

- Como se especificó anteriormente, el principal problema energético no es por la demanda de electricidad de la ciudad de Cuenca, sino por el incremento constante del parque automotor; requiriendo que se tomen medidas complementarias de ER que ayuden a mitigar los efectos ambientales producidos por los medios de transporte.

Bibliografía

Aggarwal, R., Singh, S., & Ahp, A. C. (2013). AHP and Extent Fuzzy AHP Approach for Prioritization of Performance Measurement Attributes. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, *7*(1), 6–11.

Agudelo-vera, C. M., Leduc, W. R. W. A., Mels, A. R., & Rijnaarts, H. H. M. (2012). Resources , Conservation and Recycling Harvesting urban resources towards more resilient cities. *Resources, Conservation & Recycling*, *64*, 3–12. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.014

Amarilla, R., Ojeda, H., García, M., & Blanco, G. (2014). Modelo de Planificación Energética Multicriterio : Caso de Estudio de la Utilización de los Excedentes Hidroeléctricos del Paraguay. *IEEE Biennial Congress of Argentina*, 663–668.

Arriagada, C. (2000). *Pobreza en América Latina: nuevos esenarios y desafíos de políticas para el hábitat urbano*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Baquero, M., & Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca , Ecuador. *MASKANA*, *7*(2), 147–165.

Barles, S. (2009). Urban Metabolism of Paris and Its Region. *Journal of Industrial Ecology*, *13*, 893–913.

Barragán, A., Arias, P., & Terrados, J. (2017). Renewable Energy Generation Technologies on Urban Scale Key words. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, *1*(15).

Barragán, A., & Espinoza, J. (2015). Políticas para la promoción de las energías renovables en Ecuador. In R. Pelaez-Samaniego & J. Espinoza (Eds.), *Energía Renovables en el*

Ecuador: Situación Actual, Tendencias y Perspectivas (First, Cha, pp. 1–28). Cuenca: Universidad de Cuenca, Gráficas Hernández.

Barragán, A., & Terrados, J. (2017). SUSTAINABLE CITIES : AN ANALYSIS OF THE CONTRIBUTION MADE BY RENEWABLE ENERGY. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *12*(3), 416–424. https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N3-416-424

Barragán, A., Terrados, J., Zalamea, E., & Arias, P. (2017). Electricity production using renewable resources in urban centres. *ICE Publishing*.

Bellet, C., & Llop, J. (2004). MIRADAS A OTROS ESPACIOS URBANOS: LAS CIUDADES INTERMEDIAS. *Scripta Nova*, *8*(165).

Bermeo, H. (2013). *METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL " - CUENCA*.

Bhowmik, C., Bhowmik, S., Ray, A., & Pandey, K. M. (2017). Optimal green energy planning for sustainable development : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *71*(December 2015), 796–813. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.105

BID. (2014). Ciudad sostenible / plan de acción.

Birkmann, J., Welle, T., Solecki, W., Lwasa, S., & Garschagen, M. (2016). Boost resilience of small and mid-sized cities. *Nature*, *537*(7622), 605–608.

Brans, J., & Mareschal, B. (2016). Promethee Methods. In *MULTIPLE CRITERIA DECISION ANALYSIS: STATE OF THE ART SURVEYS* (pp. 163–186).

Cajot, S., Peter, M., Bahu, J., Guignet, F., Koch, A., & Maréchal, F. (2017). Obstacles in energy planning at the urban scale. *Sustainable Cities and Society*, *30*, 223–236.

https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.003

Cavallaro, F. (2010). A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method. *Energy Policy*, *38*(1), 463–474. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.037

Cohen, I., Díaz, G., Macías, H., & Estrada, J. (2010). Proceso jerárquico analítico para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *1*, 305–319.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (n.d.). *CIUDADES INTERMEDIAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN URBANA*.

CONELEC. (2014). *Taller Desarrollo de Capacidades para la Integración de Objetivos de Desarrollo Sostenible de Energía, Metas e Indicadores en los Programas Nacionales de Estadísticas en Países de América Latina*.

CONELEC. (2015). Directorio del consejo nacional de electricidad. Retrieved May 14, 2017, from http://www.conelec.gob.ec

Demirtas, O. (2013). Evaluating the Best Renewable Energy Technology. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *3*(Special), 23–33.

Díaz Duque, J. A. (2015). La Dimensión de la Sostenibilidad en la Enseñanza de las Ingenierías en Cuba. *Educación*, *13*(19), 241–262. https://doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.011

Dyer, J. S., Fishburn, P. C., Steuer, R. E., Wallenius, J., Zionts, S., Science, M., & May, N. (2007). Multiple Criteria Decision Making , Multiattribute Utility Theory : The Next Ten Years MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING , MULTIATTRIBUTE

UTILITY THEORY : THE NEXT TEN YEARS *. *Managemente Science*, *38*(5), 645–654.

Ermatita, Hartati, S., Wardoyo, R., & Harjoko, A. (2011). ELECTRE METHODS IN SOLVING GROUP DECISION SUPPORT SYSTEM BIOINFORMATICS ON GENE MUTATION DETECTION SIMULATION. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, *3*(1), 40–52.

Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B. (2011). Electre Methods (pp. 1–35).

GAD Municipal de Cuenca. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca*. Municipalidad de Cuenca.

García Gómez, P. (2010). *Una propuesta metodológica para la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la selección de aerogeneradores Tesis doctoral*.

Ghorabaee, M. K., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, *26*, 435–451. https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.57

Girón, A. (2016). Objetivos del desarrollo sostenible y la agenda 2030: frente a las políticas públicas y los cambios de gobierno en América Latina. *Problemas Del Desarrollo*, *186*(47), 3–8.

Global Leadership On Climate Change. (2012). Why Cities? Ending Climate Change Begins in the City. Retrieved from http://c40.org/ending-climate-change-begins-in-the-city

Gómez, D., Méndez, G., Méndez, E., Ortiz, G., & Turriago, Á. (2008). Metodología basada en proceso de jerarquía analítica (AHP) para seleccionar cadenas productivas que buscan soluciones de automatización a bajo costo, 15–26.

Guerrero, G., & Faxas, J. (2015). Análisis de toma de decisión con AHP / ANP de energías renovables en República Dominicana Republica Dominicana en la y. *Anuario de Jóvenes Investigadores*, *8*, 27–29.

Habitat III. (2015). *Ciudades Intermedias: Crecimiento & Renovación Urbana*.

Haddah, B., Liazid, A., & Ferreira, P. (2017). A multi-criteria approach to rank renewables for the Algerian electricity system. *Renewable Energy*. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.035

Hák, T., Janousková, S., & Moldan, B. (2016). Sustainable Development Goals : A need for relevant indicators. *Ecological Indicators*, *60*, 565–573. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.003

Hosseini, S. M. A., Fuente, A. De, & Pons, O. (2016). Multi-Criteria Decision-Making Method for Assessing the Sustainability of Post-Disaster Temporary Housing Units Technologies: A Case Study in Bam, 2003 Author: *Sustainable Cities and Society*, *20*, 38–51. https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.09.012

INEC. (2017). Base de datos censo. Retrieved May 19, 2017, from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/.

IRENA. (2015). *Energías Renovables en América Latina 2015 : Sumario de Políticas*.

IRENA. (2016). *Renewable Energy in Cities*.

Jaramillo, C. (2017). *Estudio de Metabilismo Urbano en la Ciudad de Cuenca*. Universidad

Politécnica Salesiana.

Jiménez, E. (2011). *Escenarios energéticos globales y planificación energética española. El papel de los consumidores difusos: transporte y residencia. Ministerio de Fomento*.

Joshi, D. K., Hughes, B. B., & Sisk, T. D. (2015). Improving Governance for the Post-2015 Sustainable Development Goals : Scenario Forecasting the Next 50 years. *World Development*, *70*, 286–302. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.01.013

Jurado, J. (2015). *Energías renovables: modelos de planificación energética sostenible*.

Kim, M., Jang, Y., & Lee, S. (2013). Application of Delphi-AHP methods to select the priorities of WEEE for recycling in a waste management decision-making tool q. *Journal of Environmental Management*, *128*, 941–948. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.049

Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., & Kumar, P. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *69*(November 2016), 596–609. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191

Lecanda, X. (2015). *Propuesta metodológica para el análisis multi-criterio de la incertidumbre resultante de las proyecciones de cambio climático en Colombia descripción y aplicación de la metodología NUSAP para la visibilización de la incertidumbre como insumo en la toma de*.

Liberatore, M. J., & Nydick, R. L. (2008). The analytic hierarchy process in medical and health care decision making : A literature review. *European Journal of Operational Research*, *189*, 194–207. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.05.001

Malo, A. (2014). *El metabolismo social, el sumak kawsay y el territorio: el caso de Cuenca, Ecuador*.

Martínez Rodríguez, E. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME. *Anuario Jurídico Y Económico Escurialense*, 523–542.

Mateo, J. R. S. C. (2012). The Renewable Energy Industry and the Need for a Multi-Criteria Analysis. In *Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry Green Energy and Technology* (pp. 1–108). London: Springer.

Mcinnes, R. J. (2016). Sustainable Development Goals, 1–6. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8

Montoya, J. W. (2009). Globalización , dependencia y urbanización : la transformación reciente de la red de ciudades de América Latina 1. *Geografía Norte Grande*, *44*, 5–27.

Naciones Unidas. (2015). *Proyecto de documento final de la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015* (Vol. 13689).

Naciones Unidas. (2016). Informe de los Objetivos de Desarollo Sostenible.

Ngo, N., & Pataki, D. (2015). The energy and mass balance of Los Angeles County. *Urban Ecosystems*, *11*(April), 121–139. https://doi.org/10.1007/s11252-008-0051-1

Ochoa Ramón, J. (2009). *Criterios de evaluación y análisis de alternativas para el diseño de proyectos de electrificación rural con energía eólica y solar en países en desarrollo*.

Pérez, A. (2010). *Selección de sistema de tratamiento de aguas residuales para localidad de Santa Bárbara usando metodología de decisión multicriterio AHP*. Universidad de Chile.

Pomerol, J., & Barba-Romero, S. (2000). *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice* (Illustrate). Springer Science & Business Media. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=mNOKayvMqH4C&source=gbs_navlinks_s

Puccio, S., & Bizzarri, G. (2015). Proposal for a unit of measurement for sustainable energy planning : Energetic Population equivalent , the EPe. *Energy Procedia*, *81*, 40–44. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.057

Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, *37*, 762–776. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010

Rojas Zerpa, J. C. Ms. (2012). *Planificación del suministro eléctrico en áreas rurales de los países en vías de desarrollo: un marco de referencia para la toma de decisiones*. Universidad de Zaragoza.

Romero, H., & Vásquez, A. (2017). El crecimiento espacial de las ciudades intermedias chilenas de Chillán y Los Ángeles y sus impactos sobre la ecología de paisajes urbanos. *América Latina: Sociedade E Meio Ambiente*, 109–136.

Ruiz, B. J. Ã., & Rodrı, V. Ã. (2006). Renewable energy sources in the Colombian energy policy , analysis and perspectives, *34*, 3684–3690. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.08.007

Terrados, J., & Almonacid, G. (n.d.). HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN PARA EL

DISEÑO DE UN SISTEMA ENERGÉTICO SOSTENIBLE : APLICACIÓN A LA. *Universidad de Jaén*, 525–540.

Terrados, J., Almonacid, G., & Pérez-Higueras, P. (2009). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning . Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*, 2022–2030. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.025

Tomic, V., Marinkovi, Z., & Janoševi, D. (2011). Promethee method implementation with multi-criteria decisions * □. *Mechanical Engineering*, *9*(35049), 193–202.

Toskano, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Trespalacios, J. (2015). Ciudades sostenibles + Energía. Retrieved September 28, 2017, from https://j3palacios.wordpress.com/2015/05/09/planificacion-energetica-territorial/

Trigueros, A., & Vázquez, M. J. (n.d.). *Planificación de la accesibilidad urbana basada en índices jerárquicos analíticos*. Retrieved from https://core.ac.uk/download/pdf/11993128.pdf?repositoryId=431

UNDP. (2017). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved June 5, 2017, from http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html

United Nations. (2015). World population prospects: The 2015 revision. UN: Department of Economic.

United States Census Bureau. (2017). U.S. and world population clock. Retrieved May 9, 2017, from www.census.gov/popclock

Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process : An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, *169*, 1–29. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028

Vázquez, F. (2017). Ciudades intermedias y sustentabilidad urbana en Paraguay. *Desafía Del Desarrollo Sustentable En América Latina*, 1–21.

Velasquez, Y. N., Núñez, M., & Rodríguez, C. (2010). Aplicación de la técnica AHP para evaluar el efecto de los valores organizacionales en la productividad Application of the AHP technique to evaluate the effect of organizational values on productivity. *Dirección Y Organización*, 58–67.

Waage, J., Mace, G. M., Kock, R. A., & Mayhew, S. (2016). Governing the UN sustainable development goals : interactions , infrastructures , and institutions Governing the UN Sustainable Development Goals : interactions , infrastructures , and institutions. *The Lancet Global Health*, *3*(May 2015), e251–e252. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(15)70112-9

Wang, J., Jing, Y., Zhang, C., & Zhao, J. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 13*, *13*, 2263–2278. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.021

Wang, Q., & Poh, K. (2014). A survey of integrated decision analysis in energy and environmental modeling. *Energy*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.060

Wimmler, C., Fernandes, E. D. O., Wimmler, C., Hejazi, G., Fernandes, E. D. O., Moreira, C., & Connors, S. (2015). Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable

Energy Systems on Islands. *Journal of Clean Energy Technologies*, *3*(May), 185–195. https://doi.org/10.7763/JOCET.2015.V3.193

World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*.

Zanon, B., & Verones, S. (2013). Land Use Policy Climate change , urban energy and planning practices : Italian experiences of innovation in land management tools. *Land Use Policy*, *32*, 343–355. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.11.009

Anexos

Encuesta aplicada a expertos

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA

Por medio del siguiente formulario, se determinará el grado de importancia de los criterios y alternativas de ER para la ciudad de Cuenca. Se pide que se responda a las preguntas de manera sincera. No hay respuestas correctas o incorrectas.

Fecha de aplicación de la encuesta:

Datos del encuestado:

- **Nombres y Apellidos:**
- **Profesión:**
- **Nivel académico (si tiene cuarto nivel, escriba el nombre del programa de maestría):**
- **Indique los años de experiencia en su ejercicio profesional:**
- **Su actividad principal es:**

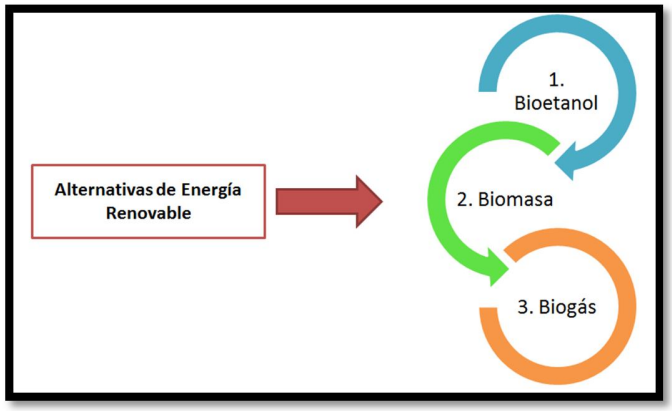
En la siguiente tabla, se explica la escala de valoración que debe ser empleada en la encuesta:

Escala de valoración

Planteamiento	Valorización numérica
Extremadamente preferible	9
Muy fuertemente preferible	7
Fuertemente preferible	5
Moderadamente preferible	3
Igualmente preferible	1

Los valores 2, 4, 6, 8 son considerados valores intermedios entre los

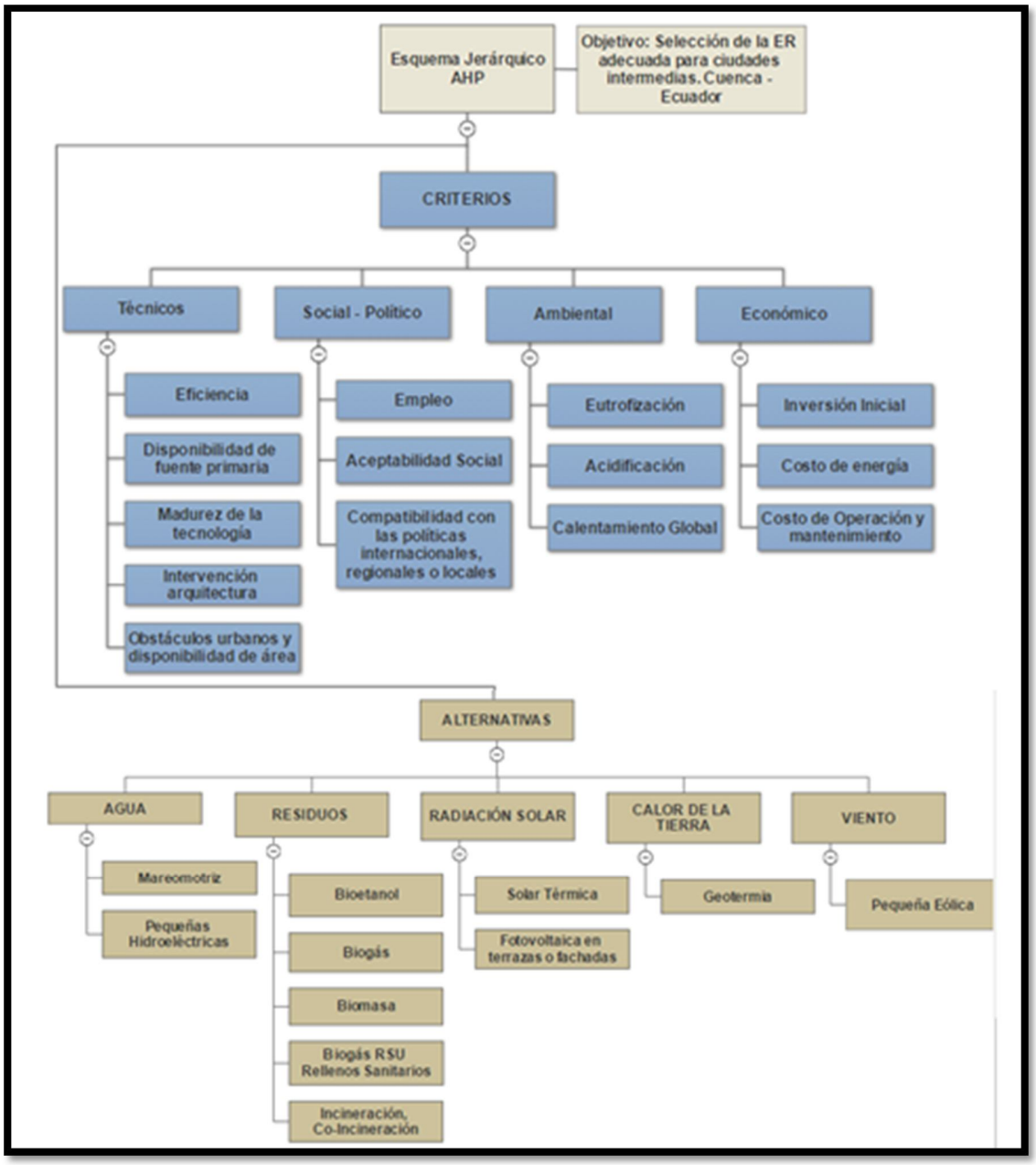
Ejemplo de comparación entre criterios de evaluación.



Se compara la primera alternativa con el resto de opciones. Si "bioetanol" se considera más importante que "biomasa" colocar una "X" en la parte izquierda de la escala. Si "biomasa" se considera más importante que "bioetanol" colocar la "X" en la parte derecha de la escala.

GRADO DE IMPORTANCIA SOBRE LOS CRITERIOS Y ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

Con la presente encuesta se pretende obtener la mejor alternativa aplicable de ER basada en el grado de importancia; a continuación se realizará comparaciones con los criterios.


Esquema Jerárquico AHP
Objetivo: Selección de la ER adecuada para ciudades intermedias. Cuenca - Ecuador
CRITERIOS
Técnicos
Social - Político
Ambiental
Económico
Eficiencia
Disponibilidad de fuente primaria
Madurez de la tecnología
Intervención arquitectura
Obstáculos urbanos y disponibilidad de área
Empleo
Aceptabilidad Social
Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales
Eutrofización
Acidificación
Calentamiento Global
Inversión Inicial
Costo de energía
Costo de Operación y mantenimiento
ALTERNATIVAS
AGUA
RESIDUOS
RADIACIÓN SOLAR
CALOR DE LA TIERRA
VIENTO
Mareomotriz
Pequeñas Hidroeléctricas
Bioetanol
Biogás
Biomasa
Biogás RSU Rellenos Sanitarios
Incineración, Co-Incineración
Solar Térmica
Fotovoltaica en terrazas o fachadas
Geotermia
Pequeña Eólica

Criterio	Subcriterio	Descripción
Técnico	Eficiencia	Se basa en el valor que se obtiene entre la salida de de energía y la cantidad de energía contenida en la fuente. Mientras más cantidad de energía disponible, la eficiencia es mayor. Es de tipo cualitativo.
Técnico	Disponibilidad de fuente primaria	Hace referencia a la existencia de la energía primaria disponible para la tecnología dada. Es de tipo cualitativo.
Técnico	Madurez de la tecnología	Está dado por el nivel de desarrollo que tiene una tecnología concreta en un determinado tiempo de acuerdo al entorno en el que se desarrolla.
Técnico	Obstáculos urbanos y disponibilidad de área	Se basa en la disponibilidad de terreno con el que cuenta la ciudad para la implementación de la tecnología. Es de tipo cualitativo.
Técnico	Intervención arquitectura	La infraestructura actual de la ciudad se puede ver afectada por la infraestructura producida por la generación de energía. Este criterio está ligado al aspecto particular de cada ciudad y es considerado como cualitativo.
Económico	Inversión inicial	Hace referencia al coste total del equipo y maquinaria necesaria para el arranque del proyecto, así como de los gastos generados para la instalación y funcionamiento del sistema de generación.
Económico	Costo de operación y mantenimiento	Está dado por todos aquellos gastos relacionados al mantenimiento de los equipos como a las reparaciones en caso de fallos de los mismos durante su vida útil.
Económico	Costo de energía	El coste que va producir una unidad de energía. Se tiene como preferencial a las energías que generan menor valor monetario.
Ambiental	Calentamiento global	Hace referencia a las emisiones de gases que provocan el calentamiento global. Indica la cantidad de emisiones que genera en un ciclo de vida la tecnología. Es de tipo cuantitativo.
Ambiental	Acidificación	Es el descenso del pH de los océanos de la Tierra causados por la absorción de dióxido de carbono antropogénico desde la atmósfera. Indica la cantidad de emisiones durante la vida útil de la tecnología. Es de tipo cuantitativo
Ambiental	Eutrofización	El uso de combustibles fósiles produce óxidos de nitrógeno, causando la eutrofización debido al exceso de nutrientes depositado en el suelo o agua. Indica la cantidad de óxidos de nitrógeno en el ciclo de vida de la tecnología. Es de tipo cuantitativo
Socio político	Empleo	El grado de generación de empleo al implementar una diferente tecnología, mejorando la calidad de vida de las personas y estableciendo nuevos negocios.
Socio político	Aceptabilidad social	Hace referencia al grado de aceptabilidad que tiene la implementación de la nueva tecnología en relación a la comunidad beneficiada de la misma.
Socio político	Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locales	La concordancia que se tiene con las políticas que rigen las Energías Renovables, su aplicación, uso y beneficio.

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Alternativas	**Importancia**									**Importancia**								**Alternativas**
	Extrema (9)		**Muy Fuerte (7)**		**Fuerte (5)**		**Moderada (3)**		**Igual (1)**	**Moderada (3)**		**Fuerte (5)**		**Muy Fuerte (7)**		**Extrema (9)**		
Bioetanol																		Biomasa
																		Biogas
																		Biogas RSU. Relleno Sanitarios
																		Incineración, Co-incineración
																		Mareomotriz
																		Pequeña eólica
																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Biomasa																		Biogas
																		Biogas RSU. Relleno Sanitarios
																		Incineración, Co-incineración
																		Mareomotriz
																		Pequeña eólica
																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Alternativas	**Importancia**									**Importancia**								**Alternativas**
	Extrema (9)		**Muy Fuerte (7)**		**Fuerte (5)**		**Moderada (3)**		**Igual (1)**	**Moderada (3)**		**Fuerte (5)**		**Muy Fuerte (7)**		**Extrema (9)**		
Biogas																		Biogas RSU. Relleno Sanitarios
																		Incineración, Co-incineración
																		Mareomotriz
																		Pequeña eólica
																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Biogas RSU. Relleno Sanitarios																		Incineración, Co-incineración
																		Mareomotriz
																		Pequeña eólica
																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Alternativas	**Importancia**									**Importancia**								**Alternativas**
	Extrema (9)		**Muy Fuerte (7)**		**Fuerte (5)**		**Moderada (3)**		**Igual (1)**	**Moderada (3)**		**Fuerte (5)**		**Muy Fuerte (7)**		**Extrema (9)**		
Incineración, Co-incineración																		Mareomotriz
																		Pequeña eólica
																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Mareomotriz																		Pequeña eólica
																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Pequeña eólica																		Geotermia
																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Geotermia																		Pequeña hidroelectica
																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Pequeña hidroelectica																		Fotovoltaica en terrazas o fachadas
																		Solar térmica
Fotovoltaica en terrazas o fachadas																		Solar térmica

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Criterios	Importancia									Importancia								Criterios
	Extrema (9)		Muy Fuerte (7)		Fuerte (5)		Moderada (3)		Igual (1)		Moderada (3)		Fuerte (5)		Muy Fuerte (7)		Extrema (9)	
Eficiencia																		Disponibilidad de fuente primaria
																		Madurez de la tecnología
																		Obstáculos urbanos y disponibilidad de área
																		Intervención arquitectura
																		Inversión inicial
																		Costo de operación y mantenimiento
																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Disponibilidad de fuente primaria																		Madurez de la tecnología
																		Obstáculos urbanos y disponibilidad de área
																		Intervención arquitectura
																		Inversión inicial
																		Costo de operación y mantenimiento
																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Criterios	Importancia									Importancia								Criterios
	Extrema (9)		Muy Fuerte (7)		Fuerte (5)		Moderada (3)		Igual (1)		Moderada (3)		Fuerte (5)		Muy Fuerte (7)		Extrema (9)	
Madurez de la tecnología																		Obstáculos urbanos y disponibilidad de área
																		Intervención arquitectura
																		Inversión inicial
																		Costo de operación y mantenimiento
																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Obstáculos urbanos y disponibilidad de área																		Intervención arquitectura
																		Inversión inicial
																		Costo de operación y mantenimiento
																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Criterios	**Importancia**									**Importancia**								**Criterios**
	Extrema (9)		**Muy Fuerte (7)**		**Fuerte (5)**		**Moderada (3)**		**Igual (1)**		**Moderada (3)**		**Fuerte (5)**		**Muy Fuerte (7)**		**Extrema (9)**	
Intervención arquitectura																		Inversión inicial
																		Costo de operación y mantenimiento
																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Inversión inicial																		Costo de operación y mantenimiento
																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale

ENCUESTA PARA PRIORIZAR CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA																		
Criterios	Importancia									Importancia								Criterios
	Extrema (9)		Muy Fuerte (7)		Fuerte (5)		Moderada (3)		Igual (1)		Moderada (3)		Fuerte (5)		Muy Fuerte (7)		Extrema (9)	
Costo de operación y mantenimiento																		Costo de energía
																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Costo de energía																		Calentamiento global
																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Calentamiento global																		Acidificación
																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Acidificación																		Eutrofización
																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Eutrofización																		Empleo
																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Empleo																		Aceptabilidad social
																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale
Aceptabilidad social																		Compatibilidad con las políticas internacionales, regionales o locale

Matriz de priorización para sub – criterio

1. Criterios técnicos

- Disponibilidad de la fuente

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	0.20	0.25	0.20	0.33	9.00	1.00	1.00	0.25	0.33	1.00	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.10	0.07	0.06	0.03	0.02	0.04	0.04
a2	5.00	1.00	3.00	1.00	2.00	9.00	2.00	4.00	1.00	1.00	2.00	0.20	0.16	0.32	0.19	0.18	0.10	0.14	0.25	0.11	0.06	0.08	**0.16**
a3	4.00	0.33	1.00	1.00	1.00	9.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	0.16	0.05	0.11	0.19	0.09	0.10	0.14	0.12	0.11	0.11	0.08	0.11
a4	2.00	1.00	1.00	1.00	3.00	9.00	4.00	3.00	2.00	3.00	4.00	0.08	0.16	0.11	0.19	0.27	0.10	0.27	0.19	0.23	0.17	0.16	**0.17**
a5	3.00	0.50	1.00	0.33	1.00	9.00	1.00	2.00	1.00	2.00	2.00	0.12	0.08	0.11	0.06	0.09	0.10	0.07	0.12	0.11	0.11	0.08	0.10
a6	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1.00	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
a7	1.00	0.50	0.50	0.25	1.00	9.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	0.04	0.08	0.05	0.05	0.09	0.10	0.07	0.06	0.11	0.06	0.08	0.07
a8	1.00	0.25	0.50	0.33	0.50	9.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.10	0.07	0.06	0.11	0.11	0.08	0.07
a9	4.00	1.00	1.00	0.50	1.00	9.00	1.00	1.00	1.00	5.00	6.00	0.16	0.16	0.11	0.09	0.09	0.10	0.07	0.06	0.11	0.28	0.24	**0.13**
a10	3.00	1.00	0.50	0.33	0.50	9.00	1.00	0.50	0.20	1.00	3.00	0.12	0.16	0.05	0.06	0.05	0.10	0.07	0.03	0.02	0.06	0.12	0.08
a11	1.00	0.50	0.50	0.25	0.50	9.00	0.50	0.50	0.17	0.33	1.00	0.04	0.08	0.05	0.05	0.05	0.10	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05
∑col.	25.1	6.39	9.36	5.31	10.9	91.0	14.6	16.1	8.73	17.8	25.1												

Razón de consistencia	
λ	12.03
CI	0.10
IA	1.62
RC	**0.06**

- Madurez de la tecnología

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	3.00	0.33	1.00	0.17	1.00	0.50	0.06	0.10	0.18	0.11	0.09	0.08	0.03	0.05	0.03	0.08	0.03	0.08
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.06	0.10	0.09	0.11	0.09	0.08	0.10	0.09	0.15	0.08	0.07	**0.09**
a3	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.10	0.09	0.11	0.09	0.10	0.10	0.05	0.15	0.08	0.07	**0.09**
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	5.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	0.06	0.10	0.09	0.11	0.19	0.13	0.10	0.09	0.15	0.08	0.14	**0.11**
a5	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	4.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.06	0.10	0.09	0.06	0.09	0.10	0.10	0.09	0.15	0.08	0.07	0.09
a6	0.33	0.33	0.25	0.20	0.25	1.00	0.50	1.00	0.17	0.20	0.20	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01	0.03
a7	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	0.50	1.00	1.00	0.17	0.10	0.09	0.11	0.09	0.05	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	**0.09**
a8	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	0.17	0.33	1.00	0.06	0.05	0.09	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.07	0.05
a9	6.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	2.00	6.00	1.00	4.00	4.00	0.34	0.10	0.09	0.11	0.09	0.15	0.19	0.27	0.15	0.33	0.27	**0.19**
a10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00	3.00	0.25	1.00	2.00	0.06	0.10	0.09	0.11	0.09	0.13	0.10	0.14	0.04	0.08	0.14	**0.10**
a11	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	5.00	1.00	1.00	0.25	0.50	1.00	0.11	0.10	0.09	0.06	0.09	0.13	0.10	0.05	0.04	0.04	0.07	0.08
∑col.	17.8	9.83	11.3	8.7	10.8	39.0	10.3	22	6.5	12	14.7												

Razón de consistencia	
λ	12.02
CI	0.10
IA	1.62
RC	**0.06**

- Obstáculos urbanos y disponibilidad de área

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00	1.00	3.00	0.25	1.00	0.25	0.06	0.09	0.15	0.14	0.07	0.12	0.07	0.09	0.02	0.10	0.02	0.08
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	7.00	3.00	4.00	0.25	1.00	1.00	0.06	0.09	0.15	0.14	0.14	0.12	0.22	0.12	0.02	0.10	0.09	**0.11**
a3	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	7.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	0.06	0.09	0.15	0.14	0.20	0.12	0.14	0.09	0.13	0.19	0.17	**0.14**
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	8.00	2.00	4.00	3.00	1.00	2.00	0.06	0.09	0.15	0.14	0.27	0.14	0.14	0.12	0.20	0.10	0.17	**0.14**
a5	1.00	0.50	0.33	0.25	1.00	6.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	0.06	0.04	0.05	0.04	0.07	0.10	0.14	0.03	0.13	0.10	0.17	0.09
a6	0.14	0.14	0.14	0.13	0.17	1.00	0.25	1.00	0.17	0.17	0.17	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02
a7	1.00	0.33	0.50	0.50	0.50	4.00	1.00	3.00	4.00	1.00	1.00	0.06	0.03	0.07	0.07	0.03	0.07	0.07	0.09	0.27	0.10	0.09	0.09
a8	0.33	0.25	0.33	0.25	1.00	1.00	0.33	1.00	0.20	0.33	0.20	0.02	0.02	0.05	0.04	0.07	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
a9	4.00	4.00	0.50	0.33	0.50	6.00	0.25	5.00	1.00	1.00	1.00	0.26	0.36	0.07	0.05	0.03	0.10	0.02	0.15	0.07	0.10	0.09	**0.12**
a10	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	6.00	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.06	0.09	0.07	0.14	0.07	0.10	0.07	0.09	0.07	0.10	0.09	0.09
a11	4.00	1.00	0.50	0.50	0.50	6.00	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00	0.26	0.09	0.07	0.07	0.03	0.10	0.07	0.15	0.07	0.10	0.09	0.10
∑col.	15.5	11.2	6.81	6.96	14.7	59.0	13.8	33	14.9	10.5	11.6												

Razón de consistencia	
λ	12.67
CI	0.17
IA	1.62
RC	**0.10**

- Intervención arquitectura

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	2.00	0.20	1.00	1.00	5.00	2.00	3.00	3.00	0.33	1.00	0.07	0.19	0.02	0.15	0.06	0.13	0.15	0.16	0.23	0.04	0.07	0.11
a2	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	2.00	2.00	0.50	1.00	2.00	0.04	0.09	0.10	0.15	0.06	0.13	0.15	0.11	0.04	0.11	0.14	**0.10**
a3	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00	1.00	0.50	1.00	2.00	0.36	0.09	0.10	0.15	0.06	0.13	0.08	0.05	0.04	0.11	0.14	**0.12**
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	6.00	3.00	4.00	2.00	2.00	2.00	0.07	0.09	0.10	0.15	0.23	0.15	0.23	0.21	0.15	0.21	0.14	**0.16**
a5	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.50	0.07	0.09	0.10	0.04	0.06	0.10	0.08	0.05	0.08	0.03	0.03	0.07
a6	0.20	0.20	0.20	0.17	0.25	1.00	0.25	1.00	1.00	0.25	0.25	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.05	0.08	0.03	0.02	0.03
a7	0.50	0.50	1.00	0.33	1.00	4.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.04	0.05	0.10	0.05	0.06	0.10	0.08	0.11	0.15	0.11	0.07	0.08
a8	0.33	0.50	1.00	0.25	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.02	0.05	0.10	0.04	0.06	0.03	0.04	0.05	0.04	0.11	0.07	0.05
a9	0.33	2.00	2.00	0.50	1.00	1.00	0.50	2.00	1.00	1.00	2.00	0.02	0.19	0.20	0.08	0.06	0.03	0.04	0.11	0.08	0.11	0.14	0.09
a10	3.00	1.00	1.00	0.50	4.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	0.22	0.09	0.10	0.08	0.23	0.10	0.08	0.05	0.08	0.11	0.14	**0.12**
a11	1.00	0.50	0.50	0.50	2.00	4.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.07	0.05	0.05	0.08	0.12	0.10	0.08	0.05	0.04	0.05	0.07	0.07
∑col.	13.9	10.7	9.9	6.5	17.3	40.0	13.3	19	13	9.33	14.8												

Razón de consistencia	
λ	12.54
CI	0.15
IA	1.62
RC	**0.10**

2. Criterios económicos

- Inversión inicial

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11	0.12	0.14	0.11	0.04	0.12	0.12	0.06	0.10	0.10	0.13	0.10
a2	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	5.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.11	0.12	0.14	0.11	0.09	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10	0.13	**0.11**
a3	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.05	0.06	0.07	0.05	0.04	0.12	0.12	0.06	0.10	0.10	0.04	0.08
a4	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	1.00	0.25	0.20	0.05	0.06	0.07	0.05	0.09	0.09	0.12	0.12	0.10	0.03	0.03	0.07
a5	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	3.00	0.33	1.00	0.33	0.25	0.20	0.11	0.06	0.07	0.03	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05
a6	0.20	0.20	0.20	0.25	0.33	1.00	0.20	0.50	0.25	0.25	0.20	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
a7	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.11	0.12	0.07	0.05	0.13	0.12	0.12	0.12	0.20	0.20	0.13	**0.12**
a8	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	2.00	0.50	1.00	1.00	0.25	1.00	0.11	0.06	0.07	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.10	0.03	0.13	0.07
a9	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	4.00	0.50	1.00	1.00	2.00	1.00	0.11	0.12	0.07	0.05	0.13	0.09	0.06	0.06	0.10	0.20	0.13	0.10
a10	1.00	1.00	1.00	4.00	4.00	4.00	0.50	4.00	0.50	1.00	1.00	0.11	0.12	0.07	0.22	0.17	0.09	0.06	0.24	0.05	0.10	0.13	**0.12**
a11	1.00	1.00	3.00	5.00	5.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11	0.12	0.21	0.27	0.21	0.12	0.12	0.06	0.10	0.10	0.13	**0.14**
∑col.	9.20	8.20	14.2	18.3	23.3	43.0	8.03	16.5	10.1	10.0	7.93												

Razón de consistencia	
λ	12.49
CI	0.15
IA	1.62
RC	**0.09**

- Costo de operación y mantenimiento

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	0.50	0.50	0.33	0.06	0.10	0.07	0.07	0.08	0.05	0.02	0.08	0.04	0.07	0.05	0.06
a2	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.06	0.10	0.13	0.15	0.08	0.05	0.06	0.08	0.07	0.14	0.14	**0.10**
a3	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.06	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.03	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06
a4	1.00	0.50	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.06	0.05	0.07	0.07	0.17	0.05	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
a5	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.06	0.10	0.07	0.04	0.08	0.05	0.06	0.08	0.07	0.14	0.14	0.08
a6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1.00	0.33	0.33	0.06	0.10	0.07	0.07	0.08	0.05	0.02	0.03	0.07	0.05	0.05	0.06
a7	4.00	1.00	2.00	1.00	1.00	3.00	1.00	0.33	0.25	0.50	0.50	0.22	0.10	0.13	0.07	0.08	0.16	0.06	0.03	0.02	0.07	0.07	0.09
a8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.06	0.10	0.07	0.07	0.08	0.16	0.19	0.08	0.04	0.07	0.07	0.09
a9	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	2.00	1.00	0.33	0.25	0.11	0.10	0.07	0.07	0.08	0.05	0.25	0.16	0.07	0.05	0.04	**0.10**
a10	2.00	1.00	2.00	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00	3.00	1.00	1.00	0.11	0.10	0.13	0.15	0.08	0.16	0.12	0.16	0.21	0.14	0.14	**0.14**
a11	3.00	1.00	2.00	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00	4.00	1.00	1.00	0.17	0.10	0.13	0.15	0.08	0.16	0.12	0.16	0.28	0.14	0.14	**0.15**
∑col.	18.0	10.0	15.0	13.5	12.0	19.0	16.1	12.7	14.3	7.17	6.92												

Razón de consistencia	
λ	12.12
CI	0.11
IA	1.62
RC	**0.07**

- Costo de energía

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.13	0.11	0.14	0.11	0.11	0.07	**0.10**
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	0.50	1.00	1.00	0.50	1.13	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.13	0.06	0.07	0.11	0.05	0.08	0.09
a3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.13	0.11	0.07	0.11	0.05	0.07	0.09
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.13	0.11	0.07	0.11	0.05	0.07	0.09
a5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.13	0.11	0.07	0.11	0.11	0.07	**0.10**
a6	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	0.33	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.07	0.05	0.05	0.02	0.04
a7	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	3.00	1.00	1.00	2.00	0.10	0.16	0.09	0.09	0.10	0.06	0.11	0.21	0.11	0.11	0.15	**0.12**
a8	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.05	0.08	0.09	0.09	0.10	0.03	0.04	0.07	0.11	0.11	0.07	0.08
a9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.06	0.11	0.07	0.11	0.21	0.15	**0.11**
a10	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	2.00	0.10	0.16	0.18	0.18	0.10	0.06	0.11	0.07	0.05	0.11	0.15	**0.12**
a11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.06	0.07	0.05	0.05	0.07	0.08
∑col.	9.75	12.3	11.3	11.3	10.3	31.0	8.83	14.0	9.50	9.50	13.5												

Razón de consistencia	
λ	11.62
CI	0.06
IA	1.62
RC	**0.04**

3. Criterios ambientales

- Calentamiento global

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.08	0.13	0.07	0.07	0.13	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.08
a2	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.04	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.07
a3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.07
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.07
a5	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.04	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.07
a6	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	0.15	0.13	0.14	0.14	0.13	0.09	0.06	0.06	0.13	0.05	0.05	**0.10**
a7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	0.50	0.50	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.06	0.04	0.07	0.05	0.05	0.06
a8	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.15	0.13	0.14	0.14	0.13	0.17	0.19	0.12	0.13	0.09	0.05	**0.13**
a9	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	0.15	0.13	0.14	0.14	0.13	0.09	0.13	0.12	0.13	0.18	0.11	**0.13**
a10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.17	0.13	0.12	0.07	0.09	0.11	0.09
a11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.17	0.13	0.24	0.13	0.09	0.11	**0.11**
∑col.	13.0	15.0	14.0	14.0	15.0	11.5	16.0	8.33	7.50	11.0	9.50												

Razón de consistencia	
λ	11.22
CI	0.02
IA	1.62
RC	**0.01**

- Acidificación

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	0.33	1.00	0.33	0.20	0.20	0.33	0.20	0.14	0.14	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.33	0.14	0.14	0.14	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03
a3	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.14	0.25	0.33	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.06	0.04
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.25	0.33	0.14	0.14	0.33	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.06	0.03
a5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.20	0.33	0.14	0.20	0.14	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.03	0.02	0.03
a6	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	0.33	0.13	0.13	0.15	0.09	0.09	0.09	0.14	0.05	0.16	0.16	0.06	**0.11**
a7	5.00	5.00	5.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.09	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	**0.14**
a8	3.00	3.00	5.00	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.08	0.08	0.15	0.09	0.09	0.27	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	**0.14**
a9	5.00	7.00	7.00	7.00	7.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.13	0.18	0.21	0.22	0.21	0.09	0.14	0.15	0.16	0.05	0.06	**0.15**
a10	7.00	7.00	4.00	7.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18	0.18	0.12	0.22	0.15	0.09	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	**0.16**
a11	7.00	7.00	3.00	3.00	7.00	3.00	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	0.18	0.18	0.09	0.09	0.21	0.27	0.14	0.15	0.05	0.16	0.17	**0.15**
∑col.	39.0	39.0	33.3	32.0	33.7	11.3	7.05	6.87	6.10	6.21	5.76												

Razón de consistencia	
λ	12.06
CI	0.11
IA	1.62
RC	**0.07**

- Eutrofización

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.20	0.33	0.14	0.33	0.33	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.05	0.05	0.03
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	0.20	0.20	0.14	0.20	0.33	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.23	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.05
a3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.33	0.14	0.14	0.14	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	0.33	0.14	0.20	0.14	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.23	0.31	0.04	0.02	0.03	0.02	0.08
a5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.20	0.33	0.20	0.20	0.33	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03
a6	3.00	0.33	5.00	0.33	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.13	0.01	0.13	0.01	0.10	0.08	0.10	0.13	0.15	0.14	0.14	0.10
a7	5.00	5.00	5.00	0.33	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.22	0.16	0.13	0.01	0.17	0.08	0.10	0.13	0.15	0.14	0.14	**0.13**
a8	3.00	5.00	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.13	0.16	0.08	0.13	0.10	0.08	0.10	0.13	0.15	0.14	0.14	**0.12**
a9	1.00	7.00	7.00	7.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.04	0.23	0.18	0.30	0.17	0.08	0.10	0.13	0.15	0.14	0.14	**0.15**
a10	3.00	5.00	7.00	5.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.13	0.16	0.18	0.21	0.17	0.08	0.10	0.13	0.15	0.14	0.14	**0.15**
a11	3.00	3.00	7.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.13	0.10	0.18	0.13	0.10	0.08	0.10	0.13	0.15	0.14	0.14	**0.13**
∑col.	23.0	30.3	39.0	23.7	29.0	12.9	9.80	7.53	6.77	7.08	7.29												

Razón de consistencia	
λ	11.94
CI	0.09
IA	1.62
RC	**0.06**

4. Criterios socio – políticos

- Empleo

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	0.07	0.12	0.13	0.07	0.10	0.08	0.09	0.07	0.06	0.04	0.05	0.08
a2	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.07	0.12	0.07	0.13	0.10	0.15	0.18	0.15	0.13	0.12	0.11	**0.12**
a3	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	0.04	0.12	0.07	0.07	0.10	0.08	0.09	0.07	0.06	0.04	0.05	0.07
a4	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.07	0.06	0.07	0.07	0.10	0.08	0.09	0.07	0.03	0.06	0.05	0.07
a5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.07	0.12	0.07	0.07	0.10	0.15	0.09	0.07	0.13	0.12	0.11	0.10
a6	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.07	0.06	0.07	0.07	0.05	0.08	0.09	0.07	0.06	0.12	0.11	0.08
a7	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.07	0.06	0.07	0.07	0.10	0.08	0.09	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09
a8	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	2.00	0.50	1.00	0.07	0.06	0.07	0.07	0.10	0.08	0.05	0.07	0.13	0.06	0.11	0.08
a9	1.00	0.50	1.00	2.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	0.07	0.06	0.07	0.13	0.05	0.08	0.05	0.04	0.06	0.06	0.11	0.07
a10	3.00	1.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.22	0.12	0.20	0.13	0.10	0.08	0.09	0.15	0.13	0.12	0.11	**0.13**
a11	2.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.15	0.12	0.13	0.13	0.10	0.08	0.09	0.07	0.06	0.12	0.11	**0.11**
∑col.	13.5	8.50	15.0	15.0	10.0	13.0	11.0	13.5	15.5	8.17	9.50												

Razón de consistencia	
λ	11.38
CI	0.04
IA	1.62
RC	**0.02**

- Aceptabilidad social

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
a3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
a5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
a6	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.20	0.20	0.20	0.05	0.05	0.02	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04
a7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.11	0.06	0.05	0.07	0.07	0.07	0.06
a8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.00	0.33	0.25	0.25	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.11	0.06	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06
a9	4.00	4.00	5.00	4.00	5.00	5.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.18	0.18	0.16	0.20	0.20	0.20	**0.20**
a10	4.00	4.00	5.00	4.00	5.00	5.00	3.00	4.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.18	0.18	0.22	0.20	0.20	0.20	**0.20**
a11	4.00	4.00	5.00	4.00	5.00	5.00	3.00	4.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.18	0.18	0.22	0.20	0.20	0.20	**0.20**
∑col.	20.0	20.0	22.5	20.0	23.0	28.0	16.3	18.3	5.02	4.93	4.93												

Razón de consistencia	
λ	11.94
CI	0.09
IA	1.62
RC	**0.06**

- Compatibilidad con políticas internacionales, regionales o localaes

Matriz de comparaciones pareadas												Matriz Normalizada										
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	VP
a1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.13	0.07	0.07	0.11	0.11	0.11	**0.10**
a2	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.22	0.07	0.07	0.11	0.11	0.11	**0.11**
a3	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.13	0.07	0.07	0.11	0.11	0.11	**0.10**
a4	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.17	0.07	0.07	0.11	0.11	0.11	**0.10**
a5	0.50	0.33	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.05	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	0.05
a6	0.33	0.20	0.33	0.25	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.07	0.11	0.11	0.11	0.06
a7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.04	0.09	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	**0.08**
a8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.04	0.04	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.07
a9	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.04	0.15	0.14	0.11	0.11	0.11	**0.11**
a10	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.04	0.15	0.14	0.11	0.11	0.11	**0.11**
a11	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.04	0.15	0.14	0.11	0.11	0.11	**0.11**
∑col.	9.83	9.53	9.67	9.75	23.0	23.0	13.5	14.0	9.33	9.33	9.33												

Razón de consistencia	
λ	11.31
CI	0.03
IA	1.62
RC	**0.02**

5. Valoración global de criterios

Matriz de comparaciones pareadas															Matriz Normalizada														
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	VP
c1	1.00	0.33	2.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00	0.09	0.06	0.13	0.06	0.15	0.08	0.16	0.09	0.13	0.13	0.13	0.10	0.09	0.13	**0.11**
c2	3.00	1.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	0.28	0.17	0.20	0.17	0.15	0.16	0.16	0.19	0.09	0.13	0.13	0.15	0.17	0.17	**0.16**
c3	0.50	0.33	1.00	3.00	2.00	1.00	1.00	0.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.05	0.06	0.07	0.17	0.10	0.08	0.08	0.05	0.09	0.09	0.08	0.10	0.04	0.04	0.08
c4	1.00	0.33	0.33	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.09	0.06	0.02	0.06	0.10	0.08	0.08	0.09	0.09	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.06
c5	0.33	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.03	0.06	0.03	0.03	0.05	0.08	0.08	0.03	0.09	0.09	0.08	0.10	0.04	0.04	0.06
c6	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	0.09	0.09	0.07	0.06	0.05	0.08	0.08	0.09	0.13	0.09	0.08	0.05	0.09	0.04	0.08
c7	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00	0.05	0.09	0.07	0.06	0.05	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.10	0.13	0.08	0.08
c8	1.00	0.50	2.00	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00	0.09	0.09	0.13	0.06	0.15	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.10	0.13	0.08	**0.10**
c9	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	0.03	0.09	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.08	0.05	0.04	0.08	0.05
c10	0.33	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04
c11	0.33	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04
c12	0.50	0.33	0.50	2.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	0.05	0.06	0.03	0.11	0.03	0.08	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.09	0.04	0.05
c13	0.50	0.25	1.00	1.00	1.00	0.50	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	3.00	0.05	0.04	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.13	0.05
c14	0.33	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33	1.00	0.03	0.04	0.07	0.06	0.05	0.08	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.05	0.01	0.04	0.04
∑col.	10.7	5.83	14.8	18.0	20.0	12.8	12.8	10.7	23.0	23.0	24.0	20.0	23.3	24.0															

Razón de consistencia	
λ	15.42
CI	0.11
IA	1.70
RC	**0.06**