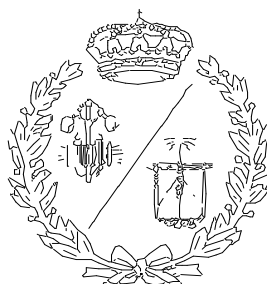


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA
SUSTITUCIÓN DEL CARBÓN POR BIOMASA
EN LAS CENTRALES TÉRMICAS
CONVENCIONALES.**

**(SUSTAINABILITY ANALYSIS TO REPLACE
COAL WITH BIOMASS AT CONVENTIONAL
THERMAL POWER STATIONS)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Daniel González Echave

Febrero - 2017

ÍNDICE.

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	ANTECEDENTES	5
1.1.1	Situación energética en España	7
1.1.2	El Carbón.....	8
1.1.3	La Biomasa.....	10
1.2	MOTIVOS DE ESTUDIO	19
1.3	OBJETIVO	21
1.4	METODOLOGÍA	22
2	DESARROLLO	23
2.1	DEFINICIÓN DE INDICADORES	24
2.1.1	Indicadores Ambientales.....	24
2.1.2	Indicadores económicos	31
2.1.3	Indicadores sociales	33
2.2	ANÁLISIS MULTICRITERIO: PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)	38
3	CONCLUSIONES.....	45
4	REFERENCIAS.....	49
5	ANEXOS	52
5.1	ANEXO 1.....	52
5.2	ANEXO 2.....	57

FIGURAS.

<i>Figura 1. Proceso de formación del carbón</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Energía eléctrica generada en España</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3. Tipos de Carbón</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4. Central Térmica de Los Barrios (Cádiz)</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Funcionamiento Central Térmica de Carbón</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6. Ciclo de la Biomasa</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7. Briquetas</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8. Pellets</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9. Astillas.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10. Huesos de aceitunas</i>	<i>14</i>
<i>Figura 11. Funcionamiento central de biomasa</i>	<i>17</i>
<i>Figura 12. Central de biomasa de Alholmens Kraft (Finlandia)</i>	<i>19</i>
<i>Figura 13. Esquema del desarrollo del trabajo</i>	<i>22</i>
<i>Figura 14. Variaciones de temperatura en 2011 comparado con promedios 1950-1980</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15. Comparación del impacto de cada indicador ambiental</i>	<i>30</i>
<i>Figura 16. Ejemplo de jerarquización</i>	<i>39</i>

TABLAS.

<i>Tabla 1. Contaminantes elegidos y fuente de obtención de su factor de emisión</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2. Resumen de los indicadores ambientales.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3. Costes definitivos de ambas tecnologías.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Coste de inversión y generación totales</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Resumen indicadores sociales.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6. Escala de Saaty.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7. Información técnica de las alternativas</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8. Importancia relativa de los criterios de valoración. Escenario 1</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 9. Importancia relativa de los criterios de valoración. Escenario 2.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 10. Vector de prioridad Global. Escenario 1 (Equilibrado)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11. Vector de prioridad Global. Escenario 2 (Socio-Económico)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12. Datos iniciales central térmica de carbón</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 13. Datos iniciales central de biomasa</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 14. Indicadores ambientales carbón</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15. Indicadores ambientales biomasa</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 16. Índice Aleatorio en función del número de alternativas.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 17. Análisis de consistencia</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 18. Mejor Alternativa. Escenario 1 (Equilibrado).....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 19. Mejor Alternativa. Escenario 2 (Socio-Económico).....</i>	<i>64</i>

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 ANTECEDENTES.

En 2013, el 81,2% del consumo total de energía en el mundo procedía de combustibles fósiles, la cifra más alta desde 1981. [1]

El carbón, la energía nuclear y el gas natural son las principales fuentes de las que dependemos para cubrir nuestras necesidades energéticas.

El problema de esta gran dependencia de combustibles fósiles, es que son un recurso agotable. Los combustibles fósiles se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales. Estos restos quedaron bajo tierra y fueron cubiertos por varios sedimentos que, en ciertas condiciones, llegaron a transformarse en los combustibles que conocemos hoy en día.

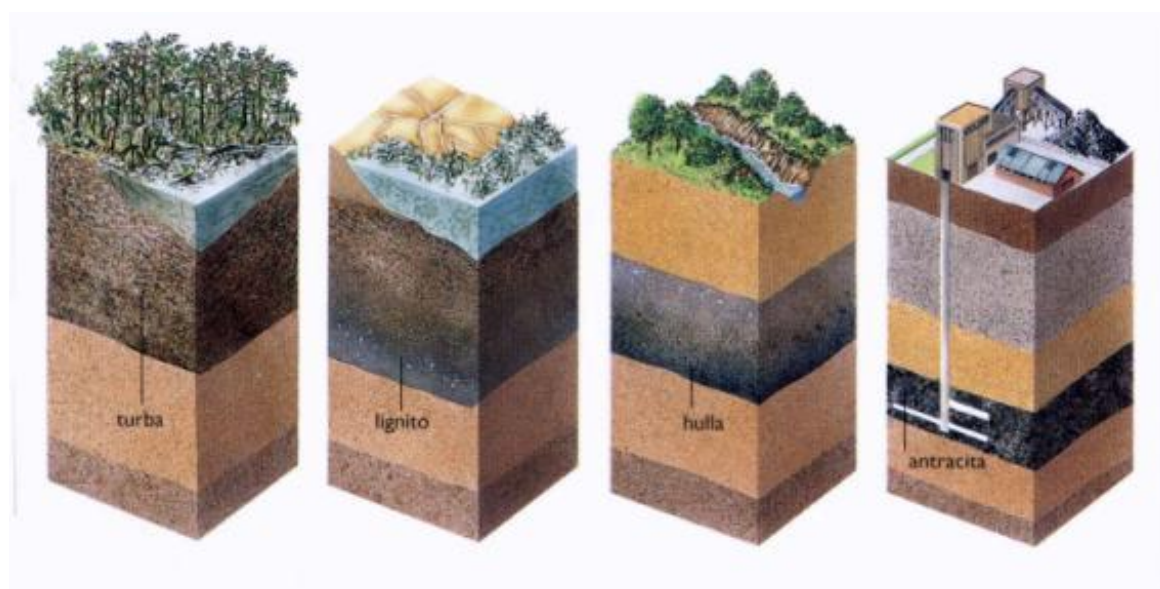


Figura 1. Proceso de formación del carbón. [2]

Los combustibles fósiles más antiguos tuvieron su origen hace más de 500 millones de años (antracita), mientras que los más recientes

comenzaron a formarse hace 5 millones de años (turba o lignito). De ahí que no se regeneren con la velocidad necesaria para cubrir nuestra demanda energética futura.

El otro gran inconveniente de los combustibles fósiles es el problema medioambiental. Durante su combustión, se emite a la atmósfera dióxido de carbono, que es el gas que más contribuye al efecto invernadero y por lo tanto al calentamiento global.

Este efecto no sólo se da en las zonas más industrializadas del planeta, sino que termina afectando a todo el planeta. En el Ártico, el aumento de la temperatura está causando el derretimiento del hielo, lo que provoca el aumento del nivel del mar en todo el mundo. Además, produce graves consecuencias en animales que habitan esas zonas del planeta.

La solución a esto es hacer de las energías renovables una alternativa viable como fuente principal de energía. Se denominan renovables a las energías que se obtienen de medios naturales inagotables, ya sea por la gran cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Entre las energías renovables destacan las siguientes:

Biomasa: Procedente de quemar restos de plantas y otras materias orgánicas.

Energía Hidroeléctrica: Aprovechamiento de la energía cinética y potencial de las corrientes del agua, saltos del agua o mareas.

Energía Eólica: Obtenida del viento, energía cinética generada debido a las corrientes de aire.

Energía Solar: Procedente de la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol. Transforman la radiación solar en energía eléctrica.

Energía Geotérmica: Aprovechamiento del calor interno de la Tierra.

Todas estas energías son renovables y, en algunos casos, energías verdes, es decir, que su uso no supone ningún impacto que pueda incidir negativamente en el medio ambiente.

1.1.1 Situación energética en España.

En España en 2015, la potencia instalada a partir de los principales combustibles fósiles fue de 42.989 MW, mientras que de renovables la potencia instalada era 50.678 MW. [3]

En cuanto a la energía eléctrica generada, la figura siguiente muestra que en España predomina la explotación de combustibles fósiles.

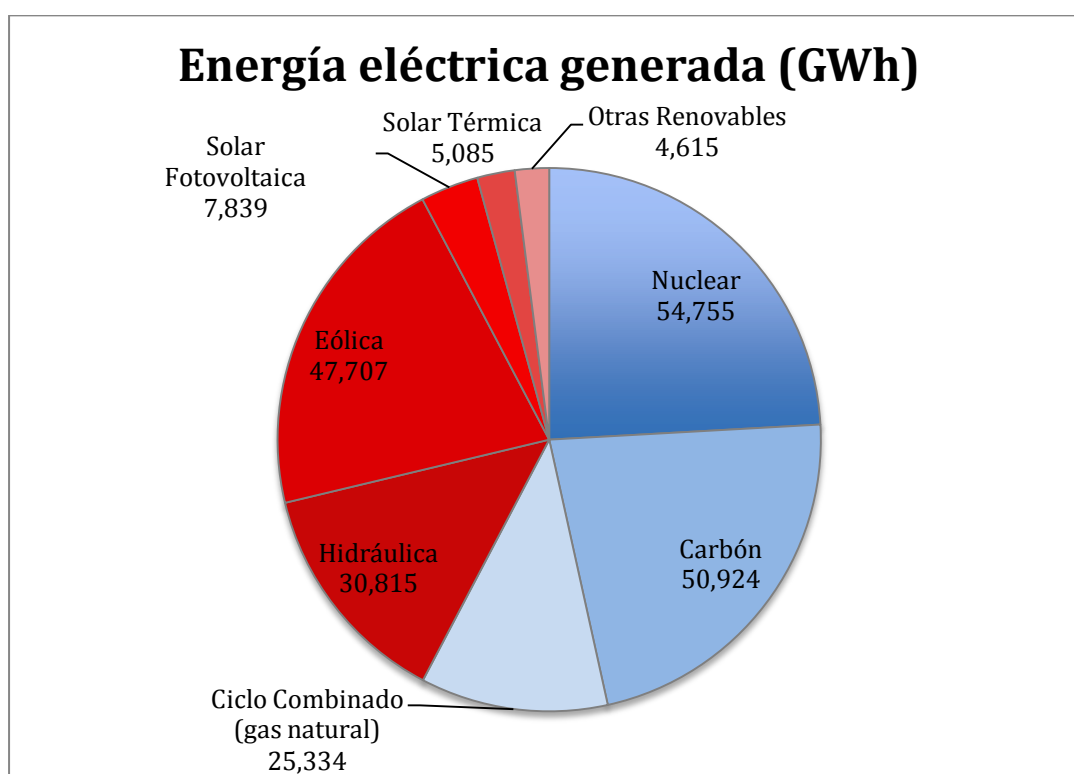


Figura 2. Energía eléctrica generada en España. Elaboración propia.

El porcentaje de renovables sobre el total de la generación eléctrica peninsular fue en 2015 del 36,9%, un 5,9% menos que en el año anterior. [3]

1.1.2 El Carbón.

El carbón se puede definir como una roca sedimentaria con alto contenido en carbono, de color negro, combustible y que procede, como se ha visto, de la fosilización de restos orgánicos vegetales. Existen cuatro tipos: Turba, Lignito, Hulla y Antracita.



Figura 3. Tipos de Carbón. [2]

Tras su formación, el carbón se extrae mediante dos métodos:

1. Extracción subterránea o de profundidad:
 - Mediante pilares, se extrae el carbón formando una red de salas en la veta del carbón, y dejando una serie de pilares (en torno al 40% del carbón de la veta). Estos pilares se pueden extraer antes de retirarse los trabajadores “explotado en retirada”.
 - Extracción por tajos largos, se extrae el carbón de una sección de la veta completamente. Se requiere el uso de rozadoras-cargadoras mecánicas y es necesario una planificación previa detallada.
2. Extracción en superficie o a cielo abierto: Puede recuperarse mayor cantidad de carbón que la extracción subterránea ya que se trabaja en todas las vetas del carbón.

Tras la extracción, el carbón se prepara para su uso en las centrales térmicas, mediante limpieza de impurezas y triturado.

Funcionamiento central térmica de carbón.

El carbón se pulveriza en el molino para aumentar la superficie de combustión y así mejorar el rendimiento. Se introduce entonces en la caldera, mezclado con aire caliente para su combustión.



Figura 4. Central Térmica de Los Barrios (Cádiz). [4]

La caldera está formada por numerosos tubos por los cuales circula el agua, que es convertida en vapor a alta temperatura. Los residuos sólidos caen al fondo y las partículas finas y los humos se hacen pasar por los precipitadores y por equipos de desulfuración, para retener la mayor cantidad posible de contaminantes antes de que lleguen a la atmósfera por la chimenea.

El vapor de agua acciona los álabes de las turbinas de vapor conectadas al rotor de un generador eléctrico, donde se convierte la energía mecánica en electricidad de media tensión y alta intensidad. Para tener las menores pérdidas posibles en el transporte, la tensión se eleva en un transformador antes de enviarse a las líneas de alta tensión de la red general.

Tras accionar las turbinas, el vapor se convierte en líquido en el condensador, para volver a empezar el ciclo termodinámico (ciclo de Rankine). El agua que refrigera el condensador puede transferir el calor extraído a la atmósfera mediante torres de refrigeración (circuito cerrado) o devolverse al mar o río (circuito abierto).

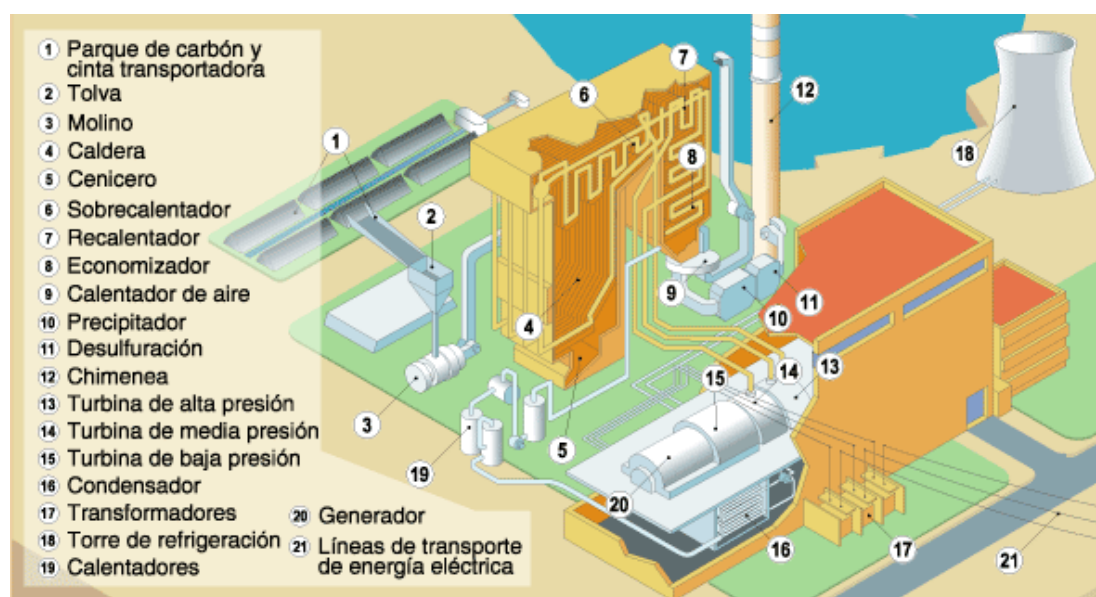


Figura 5. Funcionamiento Central Térmica de Carbón. [5]

1.1.3 La Biomasa.

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y deshechos orgánicos, que puede ser aprovechada energéticamente.

La biomasa proviene en última instancia del Sol. Los vegetales transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la

fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

Desde los primeros tiempos, el hombre ha utilizado la biomasa como fuente de energía en sus tareas cotidianas, pero con el inicio de la revolución industrial y el uso de los combustibles fósiles, la biomasa pasó a un segundo plano.



Figura 6. Ciclo de la Biomasa. [2]

En la actualidad, se está produciendo un resurgimiento de este tipo de energía debido a una serie de factores:

- Encarecimiento del precio del petróleo.
- Cambio climático.
- Marco económico favorable para el desarrollo de plantas con biomasa como combustible, debido a subvenciones.
- Nuevos conocimientos científicos y técnicos para optimizar el proceso de obtención de energía.
- Problemas de agotamiento de reservas.

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

1. Biomasa natural: Producida por la naturaleza sin intervención humana.

- Derivados de limpieza de bosques y de restos de plantaciones.
- Leñas y ramas.
- Coníferas
- Frondosas.

El problema es que requiere el transporte de esta biomasa hasta el lugar de utilización, lo cual puede encarecer el coste.

2. Biomasa residual: Residuos orgánicos que provienen de los residuos de las personas en las actividades de agricultura, ganadería, forestales, industrias madereras y agroalimentarias...

- Serrín.
- Cáscara de almendra.
- Orujillo.

Este tipo de biomasa tiene una serie de ventajas en cuanto a disminución del riesgo de incendios, reducción de espacio en vertederos, disminución de la contaminación y reducción de costes de producción. Además contribuye al desarrollo rural.

Dentro de este tipo también tenemos la biomasa residual húmeda, estos son los vertidos biodegradables, es decir, aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (purines).

3. Biomasa producida: Cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

- Cultivos productores de biomasa lignocelulósica (chopo, sauce, cardo...).
- Semillas oleaginosas (soja, girasoles...).
- Cereales.

Una vez escogido la materia prima, esta debe pasar por ciertos tratamientos antes de introducirse en la caldera. Los principales combustibles, ya preparados para quemar, son:

- Briquetas o troncos: De unos 50 cm de largo y 10-15 mm. Pueden ser de madera adecuadamente cortada o de otros materiales orgánicos prensados. Deben tener menos del 20% de humedad, para que no haya peligro de incendios de combustión.



Figura 7. Briquetas. [6]

- Pellets: Fabricados con deshechos de la industria maderera como el serrín. Por compresión, se forman pequeños cilindros uniformes. Deben tener sello de calidad para asegurar la potencia calorífica esperada, en torno a 4,9kWh por kilo. Son los más usados y producen pocas cenizas, por lo que reduce la necesidad de operación y mantenimiento.



Figura 8. Pellets. [6]

- Astillas: La longitud varía entre 5 y 100 mm y su calidad depende fundamentalmente de la materia prima de la que proceden. Deben tener menos de un 30% de humedad, tienen elevado poder calorífico y alto contenido en cenizas lo que requiere mayores labores de mantenimiento.



Figura 9. Astillas. [6]

- Huesos de aceituna: Su gran poder calorífico hace de los huesos de aceituna un material adecuado para el aprovechamiento energético. En regiones productoras, es un recurso muy económico. Debe someterse a tratamientos de secado para reducir su humedad y, en ocasiones, se tritura y se forman pellets.



Figura 10. Huesos de aceitunas. [6]

Existen diferentes métodos para transformar la biomasa en energía aprovechable, pero los dos métodos más usados son los métodos termoquímicos y los biológicos.

1. Métodos termoquímicos: Utilizan el calor como fuente de transformación de la biomasa. Funcionan mejor con la biomasa seca como la paja o la madera.

- Combustión: Se produce cuando se quema la biomasa con mucho aire (20-40% superior al teórico) y a una temperatura entre 600 y 1300°C.
- Pirólisis: Se trata de una combustión incompleta en condiciones anaerobias. Este proceso se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Libera también un gas mezcla de hidrógeno (H_2), óxidos de carbono e hidrocarburos ligeros. Este gas tiene poco poder calorífico, y puede transformarse en combustible líquido o en electricidad.
- Gasificación: Se produce en un ambiente pobre en oxígeno, y da como resultado una serie de gases que pueden ser utilizados para quemarse y producir vapor y calor, y así alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para crear electricidad. La mezcla de gases obtenida se denomina gas de síntesis o syngas y tiene un poder calorífico inferior (PCI) equivalente a la sexta parte del poder calorífico inferior del gas natural, obtenido cuando se usa aire como gasificante. [7]

Además, la gasificación produce un combustible libre de impurezas y causa menos problemas de contaminación al quemarse.

- Co-combustión: Consiste en usar la biomasa como combustible de ayuda durante la combustión del carbón en las calderas, así, se ahorra carbón y se reducen las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

2. Métodos biológicos: Se usan para biomasa con alto contenido en humedad, utilizan microorganismos que degradan las moléculas.
- Fermentación alcohólica: Esta técnica consiste en la fermentación de los hidratos de carbono que contienen las plantas, obteniéndose etanol (biocombustible).
 - Fermentación metánica: Consiste en la digestión anaerobia de la biomasa. La celulosa es la sustancia que se degrada y se forma el biogás. Este gas está constituido por metano (CH_4) alrededor de un 60%, gas carbónico y pequeñas proporciones de otros gases.

Aplicando las diferentes tecnologías de conversión, se puede obtener distintas formas de energía:

- Energía térmica: Generar vapor y calor mediante la combustión directa de biomasa o biogás.
- Biogás: Conseguir metano que puede ser usado en motores de combustión interna para la generación eléctrica, para calefacción y en vehículos modificados. En principio, el biogás puede ser usado en cualquier equipo comercial diseñado para su uso con gas natural.
- Biocombustibles: La producción de biocombustibles como el etanol y el biodiesel es una alternativa a los combustibles tradicionales del transporte. El etanol sustituye a la gasolina y se obtiene de materias primas como el maíz y el cereal. El biodiesel sustituye al gasoil y se obtiene a partir de grasas animales o aceites vegetales.
- Energía eléctrica: Obtenida por combustión o gasificación.
- Co-generación: Se refiere a obtener vapor y electricidad en un mismo proceso, puede aplicarse a procesos industriales que requieren ambos tipos de energía.

Funcionamiento central de biomasa.

El combustible principal y los residuos son tratados previamente en la propia central (triturado, secado...) para optimizar el proceso de combustión. A continuación, se guardan en almacenes según el tipo de combustible. En el caso de la cogeneración, habrá también un almacén con el combustible de apoyo.

El funcionamiento es similar al de las centrales térmicas de carbón. La biomasa se lleva a la caldera, que está diseñada específicamente para cada tipo de combustible. El agua que circula por las tuberías es calentado por el calor desprendido en la combustión hasta convertirse en vapor. Este vapor se expande en la turbina accionando un generador eléctrico que produce electricidad. Una vez elevada la tensión en un transformador, esta pasa a la red general de alta tensión. El vapor pasa por el condensador y se repite el proceso.

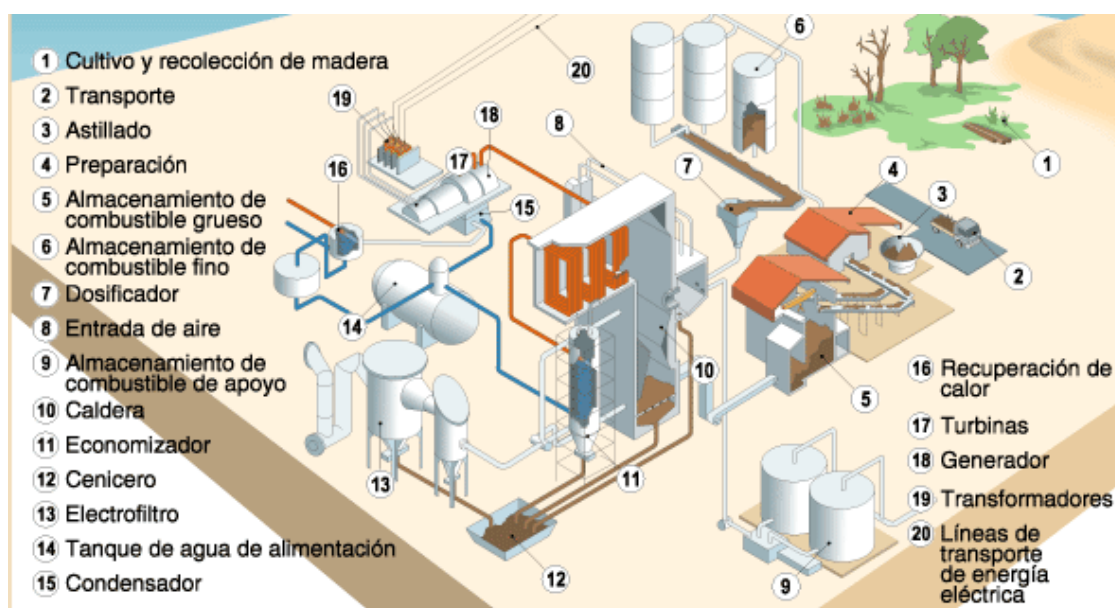


Figura 11. Funcionamiento central de biomasa. [5]

Los gases de combustión pasan por unos equipos de depuración antes de emitirse a la atmósfera y las partículas retenidas junto con las cenizas de combustión se almacenan en el cenicero.

La biomasa no es una tecnología completamente desarrollada como lo es el carbón, por lo tanto presenta una serie de nuevos problemas. La caldera es el principal equipo de una central y el que más preocupaciones genera. La combustión de la biomasa genera altos contenidos en potasio y cloro, y estos elementos pueden producir incrustaciones y corrosión en la caldera. Además, la combustión no es totalmente estable, presenta variaciones de presión y temperatura. Las distintas condiciones en las que se puede presentar la biomasa a la entrada dificulta también la automatización del control de la caldera. Con todo esto, es muy importante una selección adecuada de la caldera para optimizar el proceso.

La biomasa es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable. Esto será cierto siempre que el ritmo de explotación del recurso sea más lento que la capacidad de la Tierra para regenerarse. Así, la materia orgánica acumula más CO₂ durante su crecimiento del que se libera en la combustión. A los efectos de contabilidad en inventarios de gases de efecto invernadero se considera que la biomasa es neutra respecto a la emisión de CO₂ (factor de emisión=0).

Central de Alholmens-Kraft.

La central de biomasa de Alholmens-Kraft en la ciudad de Pietarsaari (Finlandia) es la central de biomasa más grande del mundo. Su operación comercial comenzó en 2001. Es alimentada por biocombustibles, la planta quema 800 m³ de combustible a la hora, siendo biomasa alrededor del 40-60% del combustible. Tiene un rendimiento del 35% y tiene muy pocas emisiones de NO_x. [8]

La caldera usada en esta central es la caldera de lecho fluidizado más grande del mundo, el corazón de la caldera mide 8,5 x 24 metros y tiene 40 metros de altura.

El proceso de la turbina produce 240 MW de electricidad, 100 MW de vapor y 60 MW de calefacción urbana. [8]

Los biocombustibles son los principales combustibles: corteza, astillas de madera, otros productos del proceso de refinado de madera y la turba. Los residuos de la cosecha forestal son transportados desde un máximo de 100 km y posteriormente son tratadas en la planta. Los tocones de los árboles se almacenan durante un año y dividiéndose en tres o cuatro piezas para acelerar su secado. La madera se astilla, en un tamaño entre 10-15 cm, y finalmente, se tritura hasta obtener un tamaño de grano apto para la quema en la caldera de lecho fluidizado (<3 mm).



Figura 12. Central de biomasa de Alholmens Kraft (Finlandia). [9]

1.2 MOTIVOS DE ESTUDIO.

La realización de este trabajo viene motivada por la necesidad apremiante de tener una energía limpia y segura.

Principalmente, se debe cumplir el objetivo del acuerdo de París cuyo principal objetivo a largo plazo es mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2°C sobre los niveles preindustriales y realizar esfuerzos para limitar el aumento de temperatura a 1.5°C, lo que reducirá considerablemente los riesgos y el impacto climático. [10]

Se debe disminuir también el desmesurado consumo de energía a través de combustibles fósiles que, como se ha visto al inicio del trabajo, era de alrededor del 80% en 2013. [1]

En el contexto UE, destaca la aprobación, en 2008, del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático 2013-2020, por medio del cual se establecen los objetivos del 20/20/20 en materia de energías renovables, eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a alcanzar para 2020. Los objetivos planificados son:

- Reducir las emisiones de efecto invernadero de la UE un 20%, como mínimo, con respecto a las de 1990.
- Aumentar al 20% la parte de las energías renovables en el consumo total de la UE.
- Mejorar la eficiencia energética para reducir el consumo de energía primaria un 20% con respecto al previsto.

En las Conclusiones del Consejo Europeo de octubre de 2014, se aprobó el Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático 2021-2030 ("Marco 2030"), con el fin de dotar de continuidad al Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático. El mismo está en la senda marcada por la hoja de ruta prevista hasta el año 2050, que plantea un objetivo de reducción del 80% respecto a los niveles de 1990.

Así, los nuevos objetivos al año 2030 son:

- Reducir un 40% las emisiones de GEI, respecto a los niveles de 1990. Este objetivo se traduce en una reducción del 43% en las emisiones ETS y un 30% en las no-ETS, ambos porcentajes tomando como año base el 2005.
- Aumentar el uso de las energías renovables hasta una cuota del 27% del total del consumo energético.
- Aumentar la eficiencia energética para alcanzar el 27% de ahorro respecto a un escenario tendencial (aunque esta cifra es meramente indicativa).

1.3 OBJETIVO.

Realizar un análisis de la sostenibilidad de la generación de energía eléctrica mediante una central térmica de carbón y mediante una planta de biomasa, de forma que ambas aporten la misma energía útil, es decir, que ambas produzcan los mismos GWh al año.

Se trata de determinar mediante técnicas de evaluación multicriterio cuál de las dos tecnologías de generación es más sostenible, considerando los aspectos ambientales, económicos y sociales.

Antes de todo, es necesario definir la sostenibilidad o desarrollo sostenible. Según el informe Bruntland el desarrollo sostenible es "el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades".

Existen tres dimensiones del Desarrollo Sostenible: la sociedad, el medio ambiente y la economía que deben estar interconectadas. La sostenibilidad es un paradigma para pensar en un futuro en donde las consideraciones ambientales, económicas y sociales estén equilibradas en busca de una mejor calidad de vida. [11]

Se definirán dos escenarios posibles y se usará la metodología multicriterio AHP, es decir, el Proceso Analítico Jerárquico.

1.4 **METODOLOGÍA.**

Para la elaboración de este trabajo, se ha comenzado con la elección de los indicadores ambientales. Estos los hemos obtenido del documento *The Sustainability Metrics* (Icheme). [12] Se han seleccionado los indicadores que más importancia tienen en cuanto a emisiones al aire y emisiones al agua, cada uno de ellos junto al factor de potencia adecuado.

A continuación, se han investigado datos acerca de inversiones y costes de los dos tipos de energía que se quiere analizar y se ha hecho una media aritmética entre dos fuentes diferentes para obtener los costes capitales y los costes de generación, como se verá más adelante.

Los últimos indicadores son los sociales, los cuales expondrán más adelante desde una perspectiva más subjetiva.

Una vez obtenidos y agrupados todos los datos necesarios, se realizará el análisis multicriterio de decisión aplicado en cada escenario, para determinar cual de las dos energías resulta más adecuada, hablando en términos de sostenibilidad. Se usará el proceso analítico jerárquico, AHP, el cual se explicará en detalle en el desarrollo del proyecto.

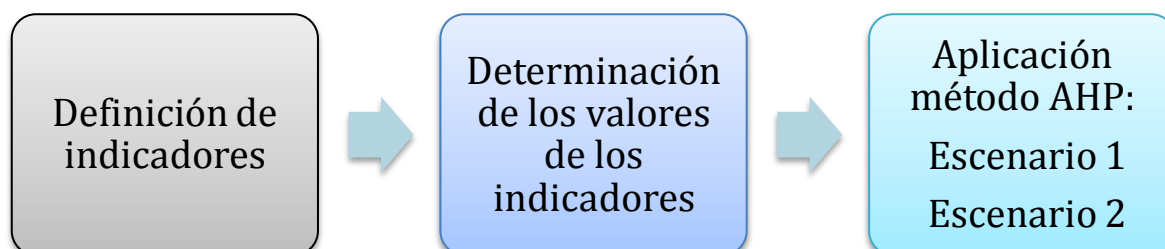


Figura 13. Esquema del desarrollo del trabajo. Elaboración propia.

2 DESARROLLO.

Para este trabajo se ha escogido como modelo de referencia la central térmica de Los Barrios en Cádiz cuyas características se han obtenido del boletín oficial de Estado de septiembre de 2015. [13]

La central de Los Barrios es una central térmica convencional que produce energía eléctrica a partir de la combustión del carbón. Tiene un único grupo térmico de vapor que posee una potencia térmica nominal de 1.420 MW y una potencia eléctrica neta de 570 MW. De aquí se obtiene el rendimiento de dicha central: 40,14%. Una eficiencia adecuada para centrales de este tipo.

La central de los Barrios tiene un tiempo de funcionamiento previsto de 6.000 horas anuales. Así, se tiene que la energía a la salida es de 3.420 GWh anuales.

A partir de aquí, se ha planteado una planta de biomasa equivalente, la cual debe poseer la misma energía eléctrica a la salida. Se considera que trabaja las mismas horas por lo que la potencia eléctrica neta será de 570 MW. El rendimiento de esta central es del 35%, por lo que la potencia térmica nominal será superior. Este rendimiento corresponde con el rendimiento de la planta de biomasa de Alholmens Kraft, en Finlandia. [14] Además, está en el intervalo medio de este tipo de centrales.

Una vez buscados y verificados todos estos datos, se puede empezar con la determinación de los indicadores ambientales, económicos y sociales.

2.1 DEFINICIÓN DE INDICADORES.

2.1.1 Indicadores Ambientales.

Un indicador ambiental se puede definir, según el Ministerio de Medio Ambiente en su publicación *Indicadores Ambientales: El mejor diagnóstico* [15] como “una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido mayor al derivado de su propia configuración científica, con el fin de representar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla en el proceso de toma de decisiones”.

Nacieron por la creciente preocupación en relación a los aspectos medio ambientales, y deben cumplir una serie de requisitos:

- Ser científicamente válido y verificables.
- Ser representativo del conjunto.
- Ser sensible a los cambios producidos en el medio o en las actividades humanas relacionadas con él.
- Estar basados en datos fiables y de calidad.
- Ser significativos y ofrecer información relevante.
- Ser comprensibles y fáciles de interpretar por cualquier usuario.
- Ser predictivos, de manera que puedan alertar sobre una evolución negativa.
- Ser comparables.

Los indicadores ambientales usados en este trabajo se han obtenido del documento *The Sustainability Metrics*. [12] Se han seleccionado los gases que mayor importancia tienen en cada efecto medioambiental y se ha construido una tabla para el carbón y otra para la biomasa.

La contaminación de los sistemas energéticos se agrupa, entonces, en emisiones al aire, emisiones al agua, residuos y uso de suelo.

Emisiones al aire.

- Acidificación atmosférica o lluvia ácida, producida por la emisión de gases contaminantes como el dióxido de azufre (SO_2) o óxido de nitrógeno (NO_x). Estos gases en combinación con el oxígeno del aire y el vapor de agua se convierten en ácidos que precipitarán a la superficie terrestre.
- Calentamiento global, se refiere al aumento gradual de la temperatura media que ha sufrido el planeta en las últimas décadas y al continuo aumento que se proyecta para el futuro, a causa de la acción del hombre.

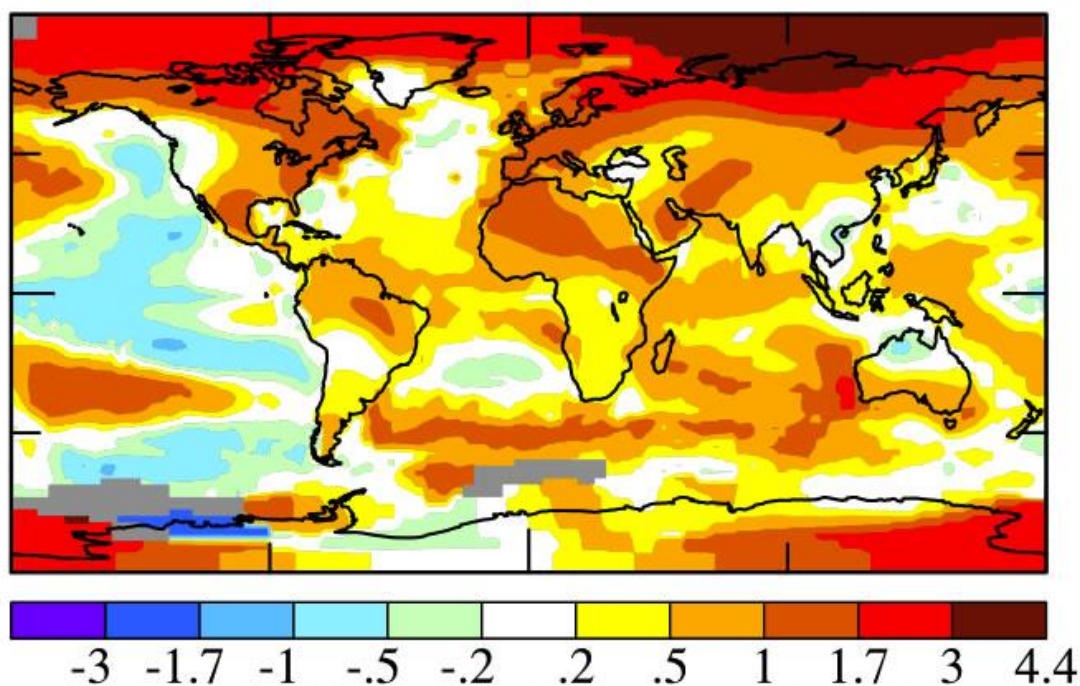


Figura 14. Variaciones de temperatura en 2011 comparado con promedios 1950-1980.

[16]

- Salud, la influencia en la salud de las fuentes de energía está directamente relacionada con las emisiones de gases contaminantes. La contaminación atmosférica puede generar graves efectos sobre la salud, a medio y largo plazo. La contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades

respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiovasculares.

La contaminación atmosférica afecta en mayor medida a personas ya enfermas. Además, los niños, ancianos y familias con dificultad para acceder a una sanidad básica son susceptibles a los efectos nocivos de este fenómeno.

Se calcula que 1,3 millones de personas mueren al año a causa de la contaminación atmosférica urbana, de las cuales más de la mitad en países desarrollados. [17]

El SO₂, junto con el NO_x, la ceniza y el hollín, son las principales causas de fenómenos que afectan gravemente a la salud, como son: la lluvia ácida, el smog y la contaminación por partículas microscópicas (PM_{2,5}). Estas últimas han sido señaladas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la mayor causa ambiental de las muertes por cáncer.

La contaminación provocada por las instalaciones de combustión que utilizan carbón en la UE causó aproximadamente unas 22.300 muertes prematuras en el año 2010, de las cuales unas 536 se produjeron en España. [18] Además, las emisiones de Hg procedentes de la combustión de carbón, causan que más de 1,8 millones de bebés nazcan al año en el mundo con niveles de Hg por encima del límite de seguridad, de los cuales 200.000 solo en la UE. [18]

Los residuos generados en los procesos de combustión contienen niveles tóxicos de metales pesados y minerales. La gran mayoría de estos residuos acaban en vertederos o en balsas representando una amenaza para la salud y el medio ambiente.

- Ozono fotoquímico, también denominado smog fotoquímico que proviene de la abreviatura de las palabras inglesas smoke (humo) y fog (niebla). Se forma en las grandes ciudades y es causa de

muchas patologías y enfermedades respiratorias. Los principales contaminantes son óxidos de nitrógeno e hidrocarburos ligeros.

Emisiones al agua.

- Acidificación del agua, se refiere a la alteración del pH del agua hasta valores considerados ácidos. Aguas cuyo pH sea menor a 5,5 se consideran ácidas y contaminadas.
- DQO o Demanda Química de Oxígeno, determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica que hay disuelta en una muestra de agua residual, por medios químicos. Cuanto mayor es la DQO mayor contaminación posee la muestra.
- Ecotoxicidad es un concepto que se refiere al estudio de los efectos tóxicos producidos por los agentes físicos y químicos sobre los seres vivos y el medio ambiente, intentando explicar las causas y prever los riesgos posibles.
- Eutrofización, es la acumulación de nutrientes o residuos orgánicos en el litoral marino o en un río, un lago, un embalse... Al haber exceso de nutrientes, plantas y otros organismos crecen en abundancia y cuando mueren se pudren agotando el oxígeno y haciendo inviable la existencia de otras especies que, previamente, formaban el ecosistema.

Residuos.

Residuos sólidos generados como cenizas de fondo, cenizas volantes y escorias.

Uso del suelo.

Comprende las actividades , acciones e intervenciones que se realizan sobre un tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla.

En este trabajo, se refiere al número de metros cuadrados necesarios por cada GWh generado (m^2/GWh).

En este caso se tiene un intervalo de valores para el carbón (8-29 m^2/GWh) [19] y para la biomasa (266-716 m^2/GWh) [19], por lo tanto se va a utilizar una media aritmética de ambos valores.

Una vez definidos los indicadores y encontrado su factor de potencia, se necesita determinar el factor de emisión, obtenido del CorinAir [20], de la Junta de Andalucía [21] o del BREF [22].

Tabla 1. Contaminantes elegidos y fuente de obtención de su factor de emisión.

Subcriterio	Contaminante	Fuente Factor Emisión	Criterio	Contaminante	Fuente Factor emisión
Acidificación Atmósfera	SO ₂	CorinAir	Acidificación Agua	HCl	BREF
	HCl	BREF		HF	BREF
	HF	BREF	DQO		BREF
Calentamiento Global	CO ₂	CorinAir	Ecotoxicidad	As	CorinAir
	CO	CorinAir		Cd	CorinAir
	CH ₄	Junta		Cr	CorinAir
	N ₂ O	Junta		Cu	CorinAir
	NO _x	CorinAir		Pb	CorinAir
	COV	CorinAir		Mn	Junta
Salud	Cd	CorinAir		Hg	CorinAir
	Ni	CorinAir		Ni	CorinAir
	As	CorinAir		Zn	CorinAir
	Cr	CorinAir		NO _x	CorinAir
Ozono Fotoquímico	CH ₄	Junta	Residuos		BREF
	CO	CorinAir			
	SO ₂	CorinAir			

Con todo esto, se construyen las tablas. A partir del factor de emisión, generalmente dado en g/GJ, se obtienen las toneladas emitidas de cada contaminante, al realizar el producto de este por la energía de combustible a la entrada en GJ.

$$\text{Toneladas de contaminante} = \text{Factor de emisión} * \text{Energía a la entrada}$$

Para hallar la energía a la entrada solamente se debe utilizar el rendimiento de cada una de las fuentes de energía. Esta energía inicial, energía que posee el combustible, va a tener un valor superior en la generación eléctrica por biomasa debido a que este tipo de centrales tienen un menor rendimiento.

En el caso de los residuos, el uso de suelo y otros factores que se dan en g/MWhe, se usará la energía a la salida, como se verá en el anexo 1.

A continuación, se multiplicará el valor obtenido, en toneladas, por el factor de potencia extraído del Icheme [12] obteniendo el resultado final comparable y analizable (ver anexo 1).

Tabla 2. Resumen de los indicadores ambientales. Elaboración propia.

		Carbón	Biomasa
Emissiones al aire	Acidificación atmosférica (toneladas equivalentes SO₂)	25172,88	379,91
	Calentamiento global (teq. CO₂)	3370405,40	160422,19
	Salud (teq. C₆H₆)	120,73	274,44
	Ozono fotoquímico (teq. C₂H₄)	1215,52	139,60

		Carbón	Biomasa
Emisiones al agua	Acidificación agua (teq. H ⁺)	0,66	No hay factor
	DQO (teq. O)	12,21	No hay factor
	Ecotoxicidad (teq. Cu)	1,54	5,38
	Eutrofización (teq. PO _{4 3-})	833,38	370,42
Residuos (t)		161082	300960
Uso de suelo (m ²)		63270	1679220

Para ver con mayor claridad la diferencia de los valores de los indicadores ambientales se ha dibujado un gráfico de columnas con el porcentaje de impacto.

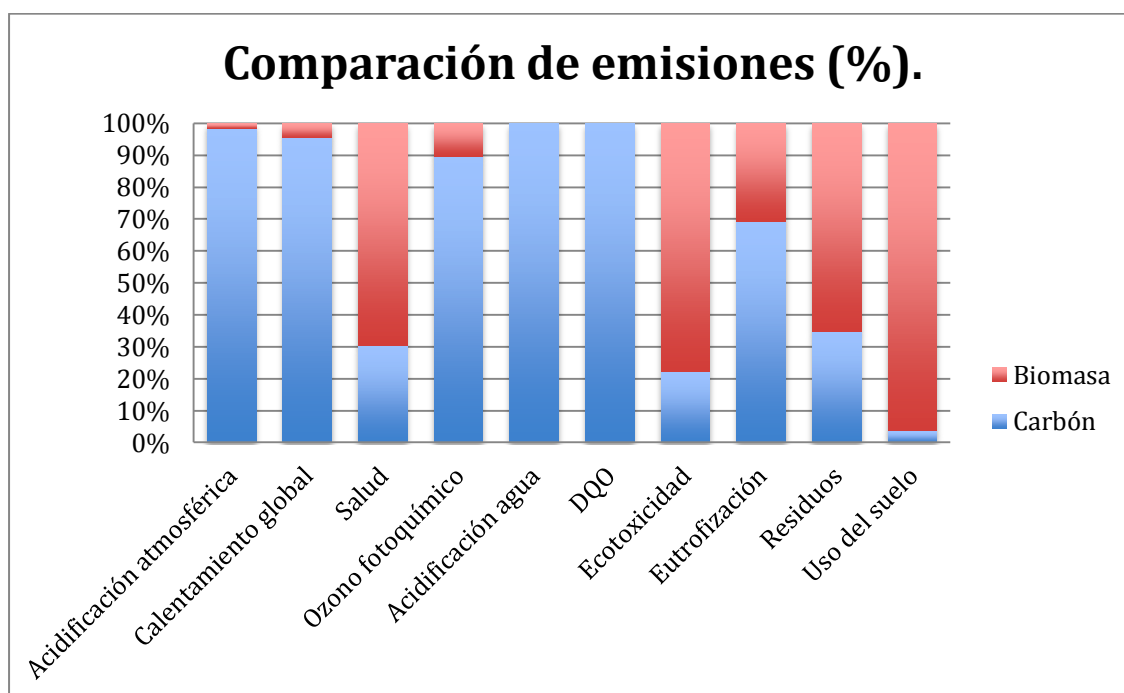


Figura 15. Comparación del impacto de cada indicador ambiental. Elaboración propia.

Los cálculos necesarios para la realización de la tabla 2 y la figura 15 serán explicados en el anexo 1 del trabajo.

2.1.2 Indicadores económicos.

Son indicadores representativos de las variables económicas que afectan al proyecto. En este trabajo, hablando de indicadores económicos en fuentes de energía, se tendrán en cuenta los costes de capital y los costes de generación.

Los costes capitales corresponden con los costes de construcción e instalación de las centrales eléctricas, es decir, la inversión inicial.

El coste de generación de la energía resulta de dividir el total de gastos anuales (por mantenimiento, inversiones, amortización, estructurales u organizativos y de consumo de combustible) entre la producción anual lograda en MWh.

Coste capital.

Tanto para el carbón como para la biomasa se ha calculado el coste capital o inversión inicial como una media aritmética de dos valores, obtenidos de dos documentos distintos de la base de datos *Scopus*, llamados *Multi-criteria assesment of new and renewable energy power plants* [23] y *A comparative analysis of woody biomass and coal for electricity generation under various CO₂ emission reduction and taxes*. [24]

Los valores obtenidos para el carbón son 1000 USD/kW [23] y 1119 USD/kW [24]

Los valores obtenidos para la biomasa son 2500 USD/kW [23] y 1725 USD/kW [24]

Coste generación.

Al igual que en el apartado anterior, se ha obtenido el resultado final como media aritmética de una serie de datos, ya que es difícil encontrar un valor exacto para los costes.

Para el carbón se ha utilizado, en primer lugar, un estudio realizado por Bloomberg New Energy Finance [25] acerca de los costes de generación en 2016, que ofrece un valor de 88 USD/MWh. El segundo valor, se ha obtenido de uno de los documentos del apartado anterior: 54 USD/MWh [23]

Para la biomasa se ha utilizado el estudio de Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [26] obteniéndose un valor de 130 USD/MWh, mientras que con el documento [23] se tiene un coste de generación de 140 USD/MWh.

Con todo esto, se realiza la media aritmética de costes y transformando las cantidades a euros, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 3. Costes definitivos de ambas tecnologías. Elaboración propia.

	Carbón	Biomasa
Coste Capital (€/kW)	1018	2030
Coste Generación (€/MWh)	68	130

A continuación, usando los datos iniciales de producción eléctrica y horas de funcionamiento anuales se puede llegar a los costes definitivos de cada una de las tecnologías, para una misma potencia instalada (570 MW).

Tabla 4. Coste de inversión y generación totales. Elaboración propia.

	Carbón	Biomasa
Inversión inicial (€/año)	580.260.000	1.157.100.000
Coste generación (€/año)	232.560.000	444.600.000

A simple vista se observa que, la biomasa, al ser una energía nueva y en desarrollo, tiene gran repercusión en la economía. Las inversiones y los costes que se deben asumir si se elige la biomasa como recurso a explotar son prácticamente el doble.

2.1.3 Indicadores sociales.

Los indicadores sociales se clasifican en varios apartados.

Seguridad de suministro.

Carbón.

Según estudios del Consejo Mundial de la Energía, actualmente se estima que las reservas de carbón en el mundo son próximas al billón de toneladas, que se reparte casi al 50 % entre reservas de hulla y antracita y reservas de lignitos. [27]

Los mayores depósitos de carbón están en América del Norte, Rusia y China. En España se tienen reservas pero la mayoría de su carbón es de importación.

A pesar de que se lleve muchos años explotando este combustible, si se mantiene el actual ritmo de consumo se calculan reservas de carbón para más de 200 años.

Por tanto, se puede determinar que las centrales de carbón garantizan un adecuado funcionamiento del sistema eléctrico.

Las previsiones oficiales defienden que a las reservas mundiales de carbón les quedan unos doscientos años pero varios estudios cuestionan este dato y aseguran que la producción mundial de este combustible fósil entrará en un declive irreversible dentro de apenas veinte años.

Es el caso de David Rutledge, del instituto de Tecnología de California, quien afirma que la producción total de carbón en el mundo, incluido el consumido en el pasado, es de 680.000 millones de toneladas. [28]

Por otro lado, el Consejo de Energía mundial (WEC) en su estudio de 2011 expone que aún quedan 891.530 millones de toneladas. [27]

David Rutledge basa sus afirmaciones en datos históricos de agotamiento de combustibles fósiles y, además, explica que las estimaciones oficiales infravaloran la dificultad y los costes de extraer y transportar este mineral.

Biomasa.

Al ser un recurso renovable podemos decir que las reservas de biomasa son inagotables o que son capaces de regenerarse por medios naturales.

Además, la biomasa tiene una gran diversidad geográfica por lo que no es necesaria la importación y sus garantías son buenas, ya que a diferencia de otras renovables, la biomasa no depende de situaciones climatológicas.

Hay que tener en cuenta si el uso de las materias primas para la producción de combustible es el más adecuado, ya que puede haber casos en los que otras alternativas, como el uso en cultivos alimentarios o reforestación, sean más recomendadas.

Además, el ritmo de consumo no debe exceder el ritmo de regeneración de la Tierra.

Problemas intergeneracionales.

Carbón.

El carbón es la fuente más grande de emisión de CO₂ a la atmósfera, y el principal responsable del cambio climático. Este será el aspecto que más

afecte a las generaciones futuras.

En 2014 las emisiones de CO₂ totales de España alcanzaron los 225 millones de toneladas, de las cuales 60,5 millones corresponden a las emisiones de CO₂ del sector eléctrico peninsular, y de esas, alrededor de 41 millones de toneladas correspondieron solamente a la producción de energía con carbón. [18]

La Central Térmica de Los Barrios emitió un total de 2.678.793 kg de CO₂ según el PNT en 2014. [18]

Biomasa.

Las energías renovables como la biomasa no deberían afectar en ningún caso a las generaciones futuras, sin embargo, la biomasa producirá ciertos gases que si afectan en cierto modo al efecto invernadero.

Se destaca la emisión de óxido nitroso (N₂O), un importante gas de efecto invernadero. Tiene una permanencia de 100 años en la atmósfera, y actualmente se le atribuye el 5% del efecto invernadero artificial. [29] Además, ataca a la capa de ozono liberando dos moléculas de monóxido de nitrógeno (NO).

En cuanto a los residuos, no generan grandes problemas en términos intergeneracionales, ya que a diferencia de la energía nuclear, el carbón y la biomasa no generan residuos radioactivos, solamente producen escorias con contenidos en metales pesados.

Empleo.

Aunque el empleo relacionado con la biomasa tiene incidencia principalmente en las zonas rurales de los países en desarrollo, también es importante en las ciudades y en los países desarrollados. Los

responsables de políticas europeos reconocen que las fuentes de energía renovables tienen un gran potencial de creación de empleo, además de producir beneficios ambientales. El sector de las energías renovables es el que presenta un mayor crecimiento en Europa.

El sector de la bioenergía puede generar 135 nuevos empleos sostenibles por cada 10.000 habitantes, frente a los 9 empleos que genera el uso de combustibles fósiles. De todas las energías renovables, la biomasa es con diferencia la que mayor potencial de creación de empleo tiene. [30]

Según los expertos, el tratamiento y mantenimiento de la biomasa para obtener energía renovable genera 30 veces más empleos que el sector del carbón y además de forma competitiva, por el menor coste de la biomasa sobre los combustibles fósiles. [30]

Si se habla de empleos directos creados por ambas tecnologías la biomasa genera 2,6 puestos de trabajo al año por cada MW instalado mientras que el carbón genera 0,64 puestos por MW instalado. [31]

Aceptación social.

Las centrales térmicas de carbón son, junto con la nuclear, unas de las fuentes de energía peor vistas socialmente.

Como se ha visto, la combustión del carbón es el proceso que más contribuye al efecto invernadero y, por consiguiente, al calentamiento global. Además, se ha demostrado que tiene importantes impactos en la salud de las personas, sobre todo si estas personas habitan en las cercanías de las centrales (ruido, interrupción del biorritmo...).

La destrucción de la capa de ozono y los múltiples artículos contra las energías no renovables, los residuos que producen y su agotamiento, consiguen finalmente que la mayor parte de la sociedad tenga un gran rechazo hacia estas formas de generación eléctrica.

Las renovables son las energías más aceptadas en la sociedad actual, principalmente debido a que, en general, no contribuyen al cambio climático.

Además, se ha demostrado, que la biomasa genera más empleo que la generación eléctrica por combustibles fósiles y, sobre todo, aporta gran cantidad de ventajas para el desarrollo del medio rural.

Muchas organizaciones ecologistas apoyan movilizaciones para promover el abandono de la extracción y uso de combustibles fósiles y, además, establecer un modelo energético 100% renovable, paso imprescindible para cumplir el acuerdo de París. También muchas políticas apoyan su uso, por ejemplo, con subvenciones autonómicas dirigidas a particulares y pequeñas empresas para promocionar el ahorro energético y el autoconsumo.

Basándose en estos criterios y usando una escala sencilla que va de “alta” a “baja”, se evaluará el impacto de cada tecnología en cada aspecto, llegándose a la siguiente tabla resumen:

Tabla 5. Resumen indicadores sociales. Elaboración propia.

		Carbón	Biomasa
Aceptación Social		Baja	Alta
Seguridad de suministro	Reservas	Media	Alta
	Independencia de importación	Media	Alta
	Garantía de suministro	Alta	Alta
Empleo		Media	Alta
Problemas Intergeneracionales	Residuos	Baja	Media
	Impacto cambio climático	Alta	Baja

2.2 ANÁLISIS MULTICRITERIO: PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP: Analytic Hierarchy Process) fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty en 1980 y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo que básicamente contiene o se puede descomponer en tres/cuatro niveles (Figura 16).

- Meta u objetivo: el foco, el objetivo amplio y global. Es lo que se espera resolver.
- Criterios (Criterios generales): Son los elementos que definen el objetivo principal.
- Criterios específicos: Son los elementos que definen el criterio debajo del cual ellos se encuentran. Deben ser cuantificables, es decir, pueden ser variables cuantitativas pero también cualitativas (pero que puedan ser cuantificables, por ejemplo, ordinalmente).
- Alternativas: Son las diferentes soluciones o cursos de acción.

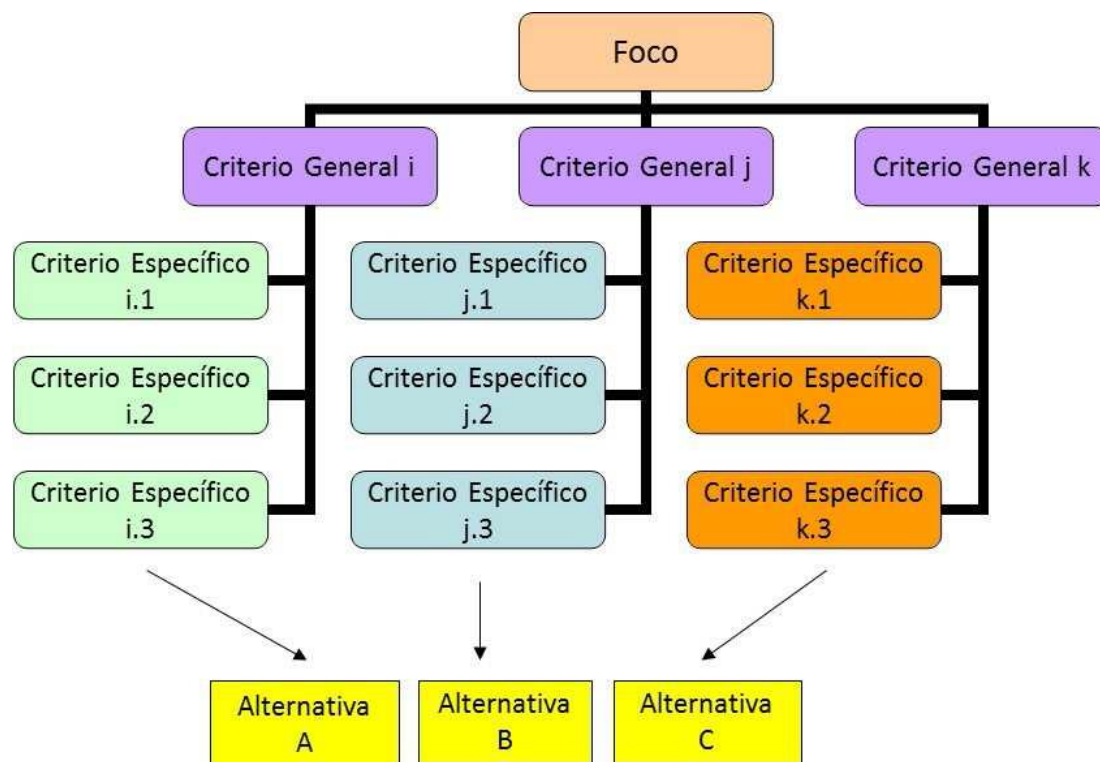


Figura 16. Ejemplo de jerarquización.

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones por pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende.

Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9 (tabla 6).

Tabla 6. Escala de Saaty. Elaboración propia.

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyeron por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios
Incrementos 0,1	Valores intermedios de incrementos	Utilización para graduación más fina de juicios

A continuación, utilizando todos los datos y aspectos obtenidos hasta ahora, se agruparan en una tabla (tabla 7) todos los indicadores, estableciendo claramente cuales son las alternativas, los criterios y los subcriterios.

Tabla 7. Información técnica de las alternativas. Elaboración propia.

Criterios	Subcriterios	Alternativas	
		Carbón	Biomasa
Indicadores ambientales	Acidificación atmosférica	25.172,88	379,91
	Calentamiento global	3.370.405,40	160.422,19
	Salud	120,73	274,44
	Ozono Fotoquímico	1.215,52	139,60
	Acidificación agua	0,66	0
	DQO	12,21	0
	Ecotoxicidad	1,54	5,38

Criterios	Subcriterios	Alternativas	
		Carbón	Biomasa
Indicadores ambientales	Eutrofización	833,38	370,42
	Residuos	161.082	300.960
	Uso suelo	63.270	1.679.220
Indicadores económicos	Coste capital	580.260.000	1.157.100.000
	Coste generación	232.560.000	444.600.000
Indicadores sociales	Aceptación social	Baja	Alta
	Reservas	Media	Alta
	Independencia de importación	Media	Alta
	Garantía de suministro	Alta	Alta
	Empleo	Media	Alta
	Residuos intergeneracionales	Baja	Media
	Impacto cambio climático	Alta	Media

Una vez identificados todos los criterios y subcriterios, hay que establecer una importancia relativa entre estos. Aquí, aparecen los dos escenarios posibles. En el primer caso, se ha optado por dar una importancia equitativa a cada criterio, es decir, cada tipo de indicador (ambiental, económico y social) tendrá un peso del 33,33% del total (tabla 8). En el segundo caso, se ha dado un 40% de importancia a los indicadores económicos y sociales y un 20% a los ambientales (tabla 9). En cuanto a los subcriterios, se ha dividido el porcentaje total del criterio entre el número de subcriterios (10 en ambientales, 2 en económicos y 7 en sociales) dando lugar a las siguientes tablas:

Tabla 8. Importancia relativa de los criterios de valoración. Escenario 1. Elaboración propia.

Criterio	Importancia	Subcriterio	Importancia
Indicadores ambientales	33,33	Acidificación atmosférica	3,33
		Calentamiento global	3,33
		Salud	3,33

Criterio	Importancia	Subcriterio	Importancia
Indicadores ambientales	33,33	Ozono Fotoquímico	3,33
		Acidificación agua	3,33
		DQO	3,33
		Ecotoxicidad	3,33
		Eutrofización	3,33
		Residuos	3,33
		Uso suelo	3,33
Indicadores económicos	33,33	Coste capital	16,67
		Coste generación	16,67
Indicadores sociales	33,33	Aceptación social	4,76
		Reservas	4,76
		Independencia de importación	4,76
		Garantía de suministro	4,76
		Empleo	4,76
		Residuos	4,76
		Impacto cambio climático	4,76

Tabla 9. Importancia relativa de los criterios de valoración. Escenario 2. Elaboración propia.

Criterio	Importancia	Subcriterio	Importancia
Indicadores ambientales	20	Acidificación atmosférica	2
		Calentamiento global	2
		Salud	2
		Ozono Fotoquímico	2
		Acidificación agua	2
		DQO	2
		Ecotoxicidad	2
		Eutrofización	2
		Residuos	2
		Uso suelo	2
Indicadores económicos	40	Coste capital	20
		Coste generación	20
Indicadores sociales	40	Aceptación social	5,71
		Reservas	5,71
		Independencia de importación	5,71
		Garantía de suministro	5,71
		Empleo	5,71

Criterio	Importancia	Subcriterio	Importancia
Indicadores sociales	40	Residuos Intergeneracionales	5,71
		Impacto cambio climático	5,71

Con los datos de estas tablas, se puede continuar con el Proceso Analítico Jerárquico y obtener la mejor de las alternativas ajustándose a nuestros indicadores.

En el anexo 2 se encuentran todos los cálculos hechos, así como las tablas utilizadas para el desarrollo del ejercicio. Previamente, también en este anexo, se han descrito todas las operaciones y todos los pasos que hay que dar hasta la obtención del resultado final.

Se comienza realizando un análisis de consistencia para cada subcriterio y posteriormente se han construido las matrices finales para la decisión de la Mejor Alternativa en cada escenario.

El resultado final se denomina Vector de Prioridad Global (VPG) y consta de dos números con los que podemos comparar las dos alternativas. El mejor resultado, es decir, la mejor alternativa para cumplir el objetivo propuesto es aquella que presenta mayor puntuación.

Tabla 10. Vector de prioridad Global. Escenario 1 (Equilibrado). Elaboración propia.

	VPG
Carbón	0,55
Biomasa	0,45

Tabla 11. Vector de prioridad Global. Escenario 2 (Socio-Económico). Elaboración propia.

	VPG
Carbón	0,52
Biomasa	0,48

Observando el Vector de Prioridad Global en ambos escenarios, se puede concluir que la tecnología que mejor se adapta a las condiciones que se han propuesto, es decir, la alternativa más sostenible, es el carbón.

3 CONCLUSIONES.

La ejecución de este trabajo ha tenido como desenlace que el carbón, en ambos escenarios, es ligeramente más sostenible que la biomasa.

Esto se debe, en su gran mayoría, a los indicadores económicos. El carbón, como se ha visto, es una energía muy utilizada y sus procesos de extracción, preparación y producción están muy estudiados y optimizados para tener un coste mínimo. En el caso de la biomasa, los costes de inversión inicial y generación son prácticamente el doble, aún así se ha llegado a un resultado muy parejo en términos generales.

Además, cabe destacar que, en los costes establecidos en este trabajo, no se han tenido en cuenta subsidios o subvenciones que, ya sea por parte de Europa, España o las propias Comunidades Autónomas, se dan a las energías renovables.

Viendo la importante ventaja que tiene la biomasa socialmente y la no contribución al cambio climático, se deben buscar soluciones para optimizar el proceso de generación eléctrica mediante biomasa, desarrollando nuevas tecnologías de producción y mejora en la depuración de gases.

El proceso de gasificación es el más eficiente para producir biomasa y el gas que produce resulta muy competitivo, desde el punto de vista económico, frente a los combustibles fósiles.

En estos momentos, se están llevando a cabo proyectos para la mejora de la eficiencia del proceso de gasificación que permitirá obtener un gas de óptima calidad a partir de fuentes no convencionales, como cultivos lignocelulósicos y residuos. Esta técnica, revalorizará los recursos ricos en lignina y abordará el problema de la materia prima de baja densidad energética.

En cuanto a temas ambientales, ha sorprendido que la biomasa tenga un mayor factor de emisión ciertos aspectos. En la salud y en la ecotoxicidad

la biomasa sale desfavorecida debido al mayor contenido en metales pesados, además las grandes diferencias en el uso del suelo se deben a que en la biomasa se tiene en cuenta todo el suelo forestal que se usa para su producción.

- Los metales pesados se emiten normalmente como compuestos (óxidos, cloruros...) asociados a las partículas. La adición de caliza en las instalaciones con caldera de lecho fluidizado puede reducir la emisión de alguno de los metales pesados, ya que se produce una mayor retención de estos en las cenizas. Sin embargo, este efecto es parcialmente contrarrestado por el incremento que se produce en la proporción partículas finas en los gases de salida.

La presencia de metales pesados depende del tipo de biomasa (generalmente mayor cantidad de ellos en las maderas que en los cultivos), también depende de donde crece, de la edad, etc. En general, puede resumirse en varias causas:

- I. La biomasa absorbe metales pesados en su proceso de crecimiento. Además, la utilización de lodos como enmienda de suelos incrementa el contenido en metales de las plantas.
- II. El contenido en energía por unidad de masa es menor en la biomasa. Por tanto, al referir las emisiones a GJ, para 1 GJ se necesita mayor cantidad de biomasa, lo que conlleva más metales.
- III. La biomasa al ser vista como una energía "limpia" tiene menos requisitos de depuración que el carbón. Esto implica mayores emisiones de partículas y, consecuentemente, más emisiones de metales pesados

Precipitadores electrostáticos y filtros de mangas son, actualmente, las dos técnicas más eficientes desde el punto de vista del control de los metales.

- Las emisiones de óxido nitroso (N_2O) por parte de las centrales de biomasa también han resultado destacables. La formación de este gas contaminante no es conocida todavía con precisión, pero se asocia a una reducción de la temperatura de combustión, especialmente a temperaturas menores de $1000^{\circ}C$. Las emisiones de N_2O pueden reducirse mediante el desarrollo de nuevos sistemas catalíticos que permitan reducir o eliminar el óxido nitroso por descomposición directa en residuos no tóxicos, o invirtiendo en la investigación y desarrollo de técnicas donde se incremente la eficiencia del uso del nitrógeno.
- Las emisiones de los Compuestos Orgánicos Volátiles (cuyo factor de emisión es 7 veces superior en la quema de biomasa) son producidas por combustiones incompletas. Las menores temperaturas de combustión en calderas de lecho fluidizado, junto con una caldera que puede no ser óptima para todos los tipos de combustible en los que se presenta la biomasa, puede fomentar la aparición de estos compuestos.
- En cuanto a los residuos, la generación eléctrica mediante biomasa genera prácticamente el doble de residuos (cenizas) que el carbón (cenizas y escorias). Sin embargo, estos residuos pueden ser aprovechados. Las cenizas procedentes de la biomasa pueden aprovecharse para la fabricación de fertilizantes debido a su alto contenido en nutrientes como potasio, fósforo o manganeso. Además, las cenizas se pueden incluir en la composición del cemento, proporcionando mejores propiedades a los materiales de construcción. Así, se evita un gran gasto, ya que no habría que transportar las cenizas al vertedero.

Para finalizar, volviendo a los aspectos económicos, cabe destacar que las emisiones de sustancias contaminantes y su impacto en el cambio

climático y en la salud, también producen una gran cantidad de gastos, no para la empresa eléctrica, si no para el Estado.

Esta repercusión económica, en términos de gasto sanitario ya sea farmacéutico o asistencial, no aparece reflejada a la hora de hacer el análisis de la sostenibilidad de una planta eléctrica, pero también debe estar presente en el cómputo general del ahorro energético tanto ambiental como económico.

4 REFERENCIAS.

- [1] *Banco Mundial*. [Online].
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS>
- [2] *Área Ciencias imágenes*. [Online]. <http://www.areaciencias.com/>
- [3] *Sistema Eléctrico Español*. Red Eléctrica de España. 2015.
- [4] *Greenpeace Imágenes*. [Online].
<http://www.greenpeace.org/espana/es/news/2013/Julio/Greenpeace-se-opone-al-proyecto-de-Endesa-de-ampliar-la-central-termica-de-carbon-de-Los-Barrios/>
- [5] *Funcionamiento centrales térmicas*. Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA). [Online]. <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1351-central-termica>
- [6] Tipos de combustibles para calderas de biomasa. [Online].
<https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/tipos-de-combustibles-para-calderas-de-biomasa.html>
- [7] *Energía de la biomasa: Biomasa y gasificación*. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [8] *Alholmens Kraft*. [Online]. www.alhomenskraft.com
- [9] *Scientific American*. [Online].
<https://www.scientificamerican.com/slideshow/10-largest-renewable-energy-projects/>
- [10] *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). [Online].
https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- [11] *Educación para el desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

- (UNESCO). [Online].
<http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/>
- [12] *The Sustainability Metrics*. Institution of Chemical Engineers (IChemE), 2002.
- [13] *Impacto ambiental del proyecto Instalación de desnitrificación de los gases de combustión en la Central Térmica de Los Barrios (Cádiz)*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Resolución 2015.
- [14] *Modern Power Systems*. [Online].
<http://www.modernpowersystems.com/features/featurealholmens-the-world-s-largest-biofuelled-plant-part-1/>
- [15] Colmenar E., *Indicadores Ambientales: el mejor diagnóstico*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- [16] *Cambio Climático Global*. [Online].
<http://cambioclimaticoglobal.com/que-es-el-calentamiento-global>
- [17] *Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud*. Organización Mundial de la Salud (OMS). [Online].
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/index1.html
- [18] *Las trampas del Carbón*. Informe sobre las centrales térmicas de carbón en España. Greenpeace. 2015.
- [19] Kaza N., *The Land Use Energy Connection*. SAGE Journals. 2014.
- [20] *Air pollutant emission inventory guidebook*. European Environment Agency (EEA). 2013.
- [21] *Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en las centrales térmicas y otras instalaciones de combustión*. Junta de Andalucía.

2014.

- [22] *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea en el ámbito de las Grandes Instalaciones de Combustión*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. BREF 2013.
- [23] *Multi-criteria assesment of new and renewable energy power plants*. Instituto Superior Técnico Lisboa. 2001.
- [24] *A comparative analysis of woody biomass and coal for electricity generation under various CO2 emission reduction and taxes*. Department of Forest Science, Texas University. Faculty of Forestry, University of Toronto. 2005.
- [25] *Giant fall in generating costs from offshore wind*. Bloomberg New Energy Finance (BNEF). 2016.
- [26] *Renewable power generation costs in 2014*. International Renewable Energy Agency (IRENA). 2014.
- [27] *World energy resources*. World Energy Council (WEC). Survey 2013.
- [28] Rutledge D., *Estimating long-term world coal production with logit and probit transforms*. Division of Engineering and Applied Science, California Institute of Technology. 2010.
- [29] *PRTR España*. [Online]. <http://www.prtr-es.es/N2O-oxido-nitroso,15592,11,2007.html>
- [30] *Biomasa: Bioenergía para el empleo*. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2012.
- [31] *Externatilities of biomass based electricity production compared with power generation from coal in the Netherlands*. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University. King's College London, Division of Life Science, London University. 1997.

5 ANEXOS.

5.1 ANEXO 1.

Para determinar los datos de la tabla 2, la cual muestra solamente los resultados finales, se ha comenzado realizando dos tablas, una para cada tecnología estudiada.

Primero, se han determinado los datos iniciales de potencia útil, rendimiento y horas de funcionamiento anuales. Una vez definidos estos datos, se ha calculado para cada tecnología, la energía a la salida o energía eléctrica, la energía a la entrada en MWh y energía a la entrada en GJ, usando las siguientes fórmulas:

$$\text{Energía Eléctrica (MWh)} = \text{Potencia útil (MW)} * \text{horas de funcionamiento (h)}$$

$$\text{Energía a la entrada (MWh)} = \frac{\text{Energía eléctrica}}{\eta}$$

$$\text{Energía a la entrada (GJ)} = \text{Energía a la entrada (MWh)} * 3,6$$

Tabla 12. Datos iniciales central térmica de carbón. Elaboración propia.

Carbón			
Potencia útil (MW)	570	Energía eléctrica (MWh)	3.420.000
Rendimiento	0,4014	Energía entrada (MWh)	8.520.179,372
Horas funcionamiento	6000	Energía entrada (GJ)	30.672.645,74

Tabla 13. Datos iniciales central de biomasa. Elaboración propia.

Biomasa			
Potencia útil (MW)	570	Energía eléctrica (MWh)	3.420.000
Rendimiento	0,35	Energía entrada (MWh)	9.771.428,571
Horas funcionamiento	6000	Energía entrada (GJ)	35.177.142,86

A partir de aquí, se realiza una segunda serie de tablas, usando los factores de emisión, obtenidos como se ha visto de una serie de documentos oficiales: el CorinAir [20], el informe de la Junta de Andalucía [21] y el BREF [22]

Para el cálculo de la columna “Toneladas” se ha efectuado el producto del factor de emisión y la energía a la entrada o, en algunos casos, la energía a la salida, dependiendo de a que se refiera cada factor de emisión.

Una vez obtenido este último valor, se debe realizar el producto de las toneladas por el factor de potencia correspondiente a cada sustancia, obtenido del Icheme [12].

Así, se tiene un resultado total (en verde), suma de las emisiones de las sustancias que afectan a cada subcriterio, que ya es comparable entre tecnologías.

Tabla 14. Indicadores ambientales carbón. Elaboración propia.

Carbón					
Emisiones al aire	Factores de emisión		Toneladas	PF	TOTAL EMISIONES (ton*PF)
	Acid. Atmo.	g/GJ			
	S02	820	25151,5695	1	25151,5695
	HCl	5,99 g/MWhe*	20,4858	0,88	18,0275
	HF	0,6 g/MWhe*	2,052	1,6	3,2832
					25172,8802
	Calent. Global				
	CO2	101000	3097937,22	1	3097937,22
	CO	8,7	266,8520	3	800,5560
	CH4	1	30,6726	21	644,1256
	N2O	1,5	46,009	310	14262,7803
	NOX	209	6410,583	40	256423,3184
	COV	1	30,6726	11	337,3991
					3370405,399
	Salud				
	Cd	0,0009	0,0276	640	17,6674
	Ni	0,0049	0,1503	160	24,0474
	As	0,0071	0,2178	160	34,8441
	Cr	0,0045	0,1380	320	44,1686

		Factores de emisión	Toneladas	PF	TOTAL EMISIONES (ton*PF)
					120,7275
Emisiones al agua	Ozono Fotoq.				
	CH4	1	30,6726	0,034	1,0429
	CO	8,7	266,8520	0,027	7,2050
	SO2	820	25151,5695	0,048	1207,2753
					1215,5232
	Acid. Agua				
	HCl	5,99 g/MWhe*	20,4858	0,027	0,5531
	HF	0,6 g/MWhe*	2,052	0,05	0,1026
					0,6557
	DQO				
		3,57 g/MWhe*	12,2094		12,2094
					12,2094
	Ecotoxicidad				
	As	0,0071	0,2178	0,2	0,0436
	Cd	0,0009	0,0276	2	0,0552
	Cr	0,0045	0,1380	0,33	0,0455
	Cu	0,0078	0,2392	1	0,2392
	Pb	0,0073	0,2239	0,2	0,0448
	Mn	0,098	3,0059	0,1	0,3006
	Hg	0,0014	0,0429	16,67	0,7158
	Ni	0,0049	0,1503	0,17	0,0256
	Zn	0,019	0,5828	0,125	0,0728
					1,5432
	Eutrofización				
	NOX	209	6410,583	0,13	833,3758
					833,3758
Residuos		47,1 kg/MWhe*	161082		161082
Uso de suelo		18,5 m2/GWh			63270 m ²

* Dato en g/MWhe por lo que se usa la energía eléctrica.

Tabla 15. Indicadores ambientales biomasa. Elaboración propia.

Biomasa					
Emisiones al aire	Factores de emisión		Toneladas	PF	TOTAL EMISIONES (ton*PF)
	Acid. Atmo.	g/GJ			
	S02	10,8	379,9131	1	379,9131
					379,9131
	Calent.Global				
	CO2	0	0	1	0
	CO	0	0	3	0
	CH4	0	0	21	0
	N20	4	140,7086	310	43619,6571
	NOX	81	2849,3486	40	113973,9429
	COV	7,31	257,1449	11	2828,5941
					160422,1941
Salud					
Cd	0,00176	0,0619	640	39,6235	
Ni	0,0142	0,4995	160	79,9225	
As	0,00946	0,3328	160	53,2441	
Cr	0,00903	0,3176	320	101,6479	
				274,438	
Ozono Fotoq.					
CH4	30	1055,3143	0,0344	35,8807	
CO	90	3165,9429	0,027	85,4805	
SO2	10,8	379,9131	0,048	18,2358	
				139,597	
Emisiones al agua	Acid. Agua				
	DQO				
	Ecotoxicidad				
	As	0,00946	0,3328	0,2	0,0666
	Cd	0,00176	0,0619	2	0,1238
	Cr	0,00903	0,3176	0,33	0,1048
	Cu	0,0211	0,7422	1	0,7422
	Pb	0,0206	0,7246	0,2	0,1449

	Factores de emisión	Toneladas	PF	TOTAL EMISIONES (ton*PF)
Mn	0,69	24,2722	0,1	2,4272
Hg	0,00151	0,0531	16,67	0,8855
Ni	0,0142	0,4995	0,17	0,0849
Zn	0,181	6,3671	0,125	0,7959
				5,3759
Eutrofización				
NOX	81	2849,3486	0,13	370,4153
				370,4153
Residuos	88	kg/MWhe*	300960	300960
Uso de suelo	491	m ² /GWh		1679220 m²

* Dato en g/MWhe por lo que se usa la energía eléctrica.

Se llega, así, a la tabla final (tabla 2), resumen de los indicadores:

Tabla 2. Resumen de los indicadores ambientales. Elaboración propia.

		Carbón	Biomasa
Emisiones al aire	Acidificación atmosférica (toneladas equivalentes SO₂)	25172,88	379,91
	Calentamiento global (teq. CO₂)	3370405,40	160422,19
	Salud (teq. C₆H₆)	120,73	274,44
	Ozono fotoquímico (teq. C₂H₄)	1215,52	139,60
Emisiones al agua	Acidificación agua (teq. H⁺)	0,66	No hay factor
	DQO (teq. O)	12,21	No hay factor
	Ecotoxicidad (teq. Cu)	1,54	5,38
	Eutrofización (teq. PO_{4 3-})	833,38	370,42
Residuos (t)		161082	300960
Uso de suelo (m²)		63270	1679220

5.2 ANEXO 2.

Para llegar al resultado final, se debe seguir una serie de etapas correspondientes al método AHP, se definen a continuación:

Análisis de Consistencia.

1. Identificar en el problema de decisión:
 - La meta general u objetivo.
 - Las alternativas posibles ($a=1,2...n$).
 - Los criterios ($c=1,2...n$).
2. Construir la matriz de Comparación por Pares de las Alternativas para cada criterio (MCPAc) estableciendo la puntuación de importancia relativa empleando la escala de Saaty, teniendo en cuenta que:
 - Se debe mantener el principio del axioma de la comparación recíproca, es decir, si la alternativa A1 es "3", moderadamente más importante que A3, entonces éste tendrá el valor inverso respecto a A1, es decir, 1/3.
 - El valor de 1 se asigna siempre a la comparación de una alternativa consigo misma.
3. Construir la Matriz Normalizada de las Alternativas para cada criterio (MNAc), dividiendo cada número de la matriz entre la suma total de la columna correspondiente.
4. Construir el Vector Prioridad de las Alternativas para cada criterio (VPac), calculado como el promedio de cada fila de la (MNAc).
5. Realizar la Suma Ponderada (SP) multiplicando (MCPac)*(VPac).
6. Realizar el cociente (SP)/(VPac).
7. Calcular el índice $\lambda_{\text{máx}}$ como el cociente de (SP)/(número de

alternativas).

8. Calcular el Índice de Consistencia (IC), empleando la siguiente ecuación, siendo n el número de alternativas:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

9. Calcular la Relación de Consistencia (RC) de la siguiente manera:

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

Donde IA es el Índice Aleatorio que tiene un valor dependiendo del número total de alternativas de la muestra problema tal y como se muestra en la siguiente tabla (tabla 16):

Tabla 16. Índice Aleatorio en función del número de alternativas.

Total alternativas (n)	3	4	5	6	7	8
Índice Aleatorio (IA)	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41

Esta primera parte es para valorar el resultado de la Relación de Consistencia (RC). Si RC es mayor de 0,10, las opiniones deberán ser reconsideradas. Si una de las alternativas no llega al nivel aceptable de consistencia, se debe recoger más información o reexaminar el marco de jerarquía, salvo que la inconsistencia surja de un hecho que es inconsistente en su esencia y fue incluido de forma consciente.

Aplicando esto al caso que se está estudiando, no se llegará a calcular la relación de consistencia (RC) ya que sólo se tienen 2 alternativas y el índice aleatorio para n=1 y n=2 es cero. Al calcular el índice de

consistencia (IC) y ver que éste es cero, se concluye que los juicios están bien hechos y se continúa con la siguiente etapa.

Decisión de la mejor alternativa.

1. Construir la Matriz de Comparación de Pares de Criterios (MCPC) estableciendo la puntuación de importancia relativa entre criterios empleando la escala de Saaty, teniendo en cuenta que:
 - Se debe mantener el principio del axioma de la comparación recíproca, es decir, si el criterio C1 es "3", moderadamente más importante que C3, entonces éste tendrá el valor inverso respecto a C1, es decir, 1/3.
 - El valor de 1 se asigna siempre a la comparación de un criterio consigo mismo.
2. Realizar con la matriz MCPC los pasos 3-4 del apartado anterior, para calcular la Matriz Normalizada de Criterios (MNC) y el Vector Prioridad de Criterios (VPC).
3. Construir la Matriz Prioridad de las Alternativas-Criterios (MPAC) .
4. Construir el Vector de Prioridad Global, multiplicando MPAC*VPC, seleccionando como mejor alternativa para cumplir el objetivo propuesto aquella que presenta mayor puntuación.

El análisis de consistencia será el mismo para ambos escenarios ya que no depende de la importancia relativa entre criterios, mientras que la tabla final de Mejor Alternativa será lo que diferencie los dos estudios.

Con esto, se termina el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), y se va a mostrar, a continuación, todo el proceso de forma práctica, aplicado a nuestros casos.

Tabla 17. Análisis de consistencia I.

Matriz de Comparación por Pares (MCPAc)			Matriz Normalizada (MNAc)			Vector Prioridad (VPAc)			Análisis de Consistencia			
									1. Suma Ponderada SP=(MCPAc*VPAc)			
Acidificación Atmosférica			Acidificación Atmosférica						2. Suma ponderada (SP)/Vector prioridad (VPAc)			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	
Carbón	1	1/9	Carbón	0,100	0,100	0,100	Carbón	0,20	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	9	1	Biomasa	0,900	0,900	0,900	Biomasa	1,80	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	10,00	1,11		1,00	1,00	1,000		2,00				
Calentamiento Global			Calentamiento Global						Calentamiento Global			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	0
Carbón	1	1/9	Carbón	0,1	0,1	0,100	Carbón	0,20	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	9	1	Biomasa	0,9	0,9	0,900	Biomasa	1,80	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	10,00	1,11		1,00	1,00	1,000		2,00				
Salud			Salud						Salud			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	0
Carbón	1	5	Carbón	0,83	0,83	0,833	Carbón	1,67	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	1/5	1	Biomasa	0,17	0,17	0,167	Biomasa	0,33	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	1,20	6,00		1,00	1,00	1,000		2,00				
Ozono Fotoquímico			Ozono Fotoquímico						Ozono Fotoquímico			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	0
Carbón	1	1/7	Carbón	0,13	0,13	0,125	Carbón	0,25	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	7	1	Biomasa	0,88	0,88	0,875	Biomasa	1,75	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	8,00	1,14		1,00	1,00	1,000		2,00				
Acidificación Agua			Acidificación Agua						Acidificación Agua			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	0
Carbón	1	1/9	Carbón	0,1	0,1	0,100	Carbón	0,20	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	9	1	Biomasa	0,9	0,9	0,900	Biomasa	1,80	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	10,00	1,11		1,00	1,00	1,000		2,00				
DQO			DQO						DQO			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	0
Carbón	1	1/9	Carbón	0,1	0,1	0,100	Carbón	0,20	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	9	1	Biomasa	0,9	0,9	0,900	Biomasa	1,80	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	10,00	1,11		1,00	1,00	1,000		2,00				
Ecotoxicidad			Ecotoxicidad						Ecotoxicidad			
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa					Carbón	Biomasa	0
Carbón	1	7	Carbón	0,88	0,88	0,875	Carbón	1,75	Carbón	2,00	Carbón	0
Biomasa	1/7	1	Biomasa	0,13	0,13	0,125	Biomasa	0,25	Biomasa	2,00	Biomasa	0
	1,14	8,00		1,00	1,00	1,000		2,00				

Tabla 17. Análisis de Consistencia II.

Eutrofización			Eutrofización			Eutrofización			Eutrofización			Eutrofización			Eutrofización			Eutrofización		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1/5	0,167	0,17	0,17	0,33	1,67	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
Biomasa	5	1	0,833	0,83	0,83	0,33	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
	6,00	1,20		1,00	1,00		2,00													
Residuos			Residuos			Residuos			Residuos			Residuos			Residuos			Residuos		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	5	0,833	0,83	0,83	1,67	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
Biomasa	1/5	1	0,167	0,17	0,17	0,33	1,67	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
	1,20	6,00		1,00	1,00		2,00													
Uso Suelo			Uso Suelo			Uso Suelo			Uso Suelo			Uso Suelo			Uso Suelo			Uso Suelo		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	9	0,900	0,9	0,9	1,80	0,20	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
Biomasa	1/9	1	0,100	0,1	0,1	0,20	1,80	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
	1,11	10,00		1,00	1,00		2,00													
Coste Capital			Coste Capital			Coste Capital			Coste Capital			Coste Capital			Coste Capital			Coste Capital		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	5	0,833	0,83	0,83	1,67	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
Biomasa	1/5	1	0,167	0,17	0,17	0,33	1,67	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
	1,20	6,00		1,00	1,00		2,00													
Coste Generación			Coste Generación			Coste Generación			Coste Generación			Coste Generación			Coste Generación			Coste Generación		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	5	0,833	0,83	0,83	1,67	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
Biomasa	1/5	1	0,167	0,17	0,17	0,33	1,67	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
	1,20	6,00		1,00	1,00		2,00													
Aceptación Social			Aceptación Social			Aceptación Social			Aceptación Social			Aceptación Social			Aceptación Social			Aceptación Social		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1/9	0,100	0,1	0,1	0,20	1,80	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
Biomasa	9	1	0,900	0,9	0,9	1,80	0,20	2,00	2,00	2,00	2,00	0								
	10,00	1,11		1,00	1,00		2,00													

Tabla 17. Análisis de Consistencia III.

Reservas			Reservas			Reservas			Reservas			Reservas			Reservas		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1/7	Carbón	0,13	0,13	0,125	Carbón	0,25	Carbón	2,00	2,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	0	0
Biomasa	7	1	Biomasa	0,88	0,88	0,875	Biomasa	1,75	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	0	0
	8,00	1,14		1,00	1,00		1,000	2,00									
Independencia de importación			Independencia de importación			Independencia de importación			Independencia de importación			Independencia de importación			Independencia de importación		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1/5	Carbón	0,17	0,17	0,167	Carbón	0,33	Carbón	2,00	2,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	0	0
Biomasa	5	1	Biomasa	0,83	0,83	0,833	Biomasa	1,67	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	0	0
	6,00	1,20		1,00	1,00		1,000	2,00									
Garantía de suministro			Garantía de suministro			Garantía de suministro			Garantía de suministro			Garantía de suministro			Garantía de suministro		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1	Carbón	0,5	0,5	0,500	Carbón	1,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	0	0
Biomasa	1	1	Biomasa	0,5	0,5	0,500	Biomasa	1,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	0	0
	2,00	2,00		1,00	1,00		1,000	2,00									
Empleo			Empleo			Empleo			Empleo			Empleo			Empleo		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1/5	Carbón	0,17	0,17	0,167	Carbón	0,33	Carbón	2,00	2,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	0	0
Biomasa	5	1	Biomasa	0,83	0,83	0,833	Biomasa	1,67	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	0	0
	6,00	1,20		1,00	1,00		1,000	2,00									
Residuos Intergeneracionales			Residuos Intergeneracionales			Residuos Intergeneracionales			Residuos Intergeneracionales			Residuos Intergeneracionales			Residuos Intergeneracionales		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	3	Carbón	0,75	0,75	0,750	Carbón	1,50	Carbón	2,00	2,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	0	0
Biomasa	1/3	1	Biomasa	0,25	0,25	0,250	Biomasa	0,50	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	0	0
	1,33	4,00		1,00	1,00		1,000	2,00									
Impacto cambio climático			Impacto cambio climático			Impacto cambio climático			Impacto cambio climático			Impacto cambio climático			Impacto cambio climático		
	Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa		Carbón	Biomasa
Carbón	1	1/9	Carbón	0,1	0,1	0,100	Carbón	0,20	Carbón	2,00	2,00	Carbón	2,00	2,00	Carbón	0	0
Biomasa	9	1	Biomasa	0,9	0,9	0,900	Biomasa	1,80	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	2,00	2,00	Biomasa	0	0
	10,00	1,11		1,00	1,00		1,000	2,00									

Tabla 18. Mejor Alternativa. Escenario 1 (Equilibrado).

Matriz de Comparación por Pares (MCPC)																			
	Acidificación Atmosférica	Calentamiento Global	Salud	Ozono Fotoquímico	Acidificación Agua	DQO	Ecotoxicidad	Eutrofización	Residuos	Uso Suelo	Coste Capital	Coste Generación	Aceptación Social	Reservas	Independencia Importación	Garantía Suministro	Empleo	Residuos Inter.	Impacto Cambio Climático
Acidificación Atmosférica	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Calentamiento Global	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Salud	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Ozono Fotoquímico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Acidificación Agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
DQO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Ecotoxicidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Eutrofización	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Residuos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Uso Suelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Coste Capital	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	7	7	7	7	7	7	7
Coste Generación	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	7	7	7	7	7	7	7
Aceptación Social	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Reservas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Independencia Importación	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Garantía Suministro	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Empleo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Residuos Intergeneracionales	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Impacto Cambio Climático	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	4.11	4.11	24.33	24.33	24.33	24.33	24.33	24.33	24.33

Matriz Normalizada MNC																			
	Acidificación Atmosférica	Calentamiento Global	Salud	Ozono Fotoquímico	Acidificación Agua	DQO	Ecotoxicidad	Eutrofización	Residuos	Uso Suelo	Coste Capital	Coste Generación	Aceptación Social	Reservas	Independencia Importación	Garantía Suministro	Empleo	Residuos Inter.	Impacto Cambio Climático
Acidificación atmosférica	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Calentamiento Global	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Salud	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Ozono Fotoquímico	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Acidificación Agua	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
DQO	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Ecotoxicidad	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Eutrofización	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Residuos	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Uso Suelo	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0270	0.0270	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
Coste Capital	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.2432	0.2432	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877
Coste Generación	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.1837	0.2432	0.2432	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877
Aceptación Social	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
Reservas	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
Independencia Importación	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
Garantía Suministro	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
Empleo	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
Residuos Intergeneracionales	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
Impacto Cambio Climático	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0612	0.0347	0.0347	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Matriz de Prioridad de las Alternativas-Criterios (MPAC)																			
	Acidificación Atmosférica	Calentamiento Global	Salud	Ozono Fotoquímico	Acidificación Agua	DQO	Ecotoxicidad	Eutrofización	Residuos	Uso Suelo	Coste Capital	Coste Generación	Aceptación Social	Reservas	Independencia Importación	Garantía Suministro	Empleo	Residuos Inter.	Impacto Cambio Climático
Carbón	0.10	0.10	0.83	0.13	0.10	0.10	0.88	0.17	0.83	0.90	0.83	0.83	0.10	0.13	0.17	0.50	0.17	0.75	0.10
Biomasa	0.90	0.90	0.17	0.88	0.90	0.90	0.13	0.83	0.17	0.10	0.17	0.17	0.90	0.88	0.83	0.50	0.83	0.25	0.90
VPC	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.23	0.23	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Tabla 19. Mejor Alternativa. Escenario 2 (Socio-Económico).

Matriz de Comparación por Pares (MCPC)																				
	Acidificación Atmosférica	Calentamiento Global	Salud	Ozono Fotoquímico	Acidificación Agua	DQO	Ecotoxicidad	Eutrofización	Residuos	Uso Suelo	Coste Capital	Coste Generacion	Aceptacion Social	Reservas	Independencia	Importacion	Garantía Suministro	Empleo	Residuos Inter.	Impacto Cambio Climático
Acidificación Atmosférica	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Calentamiento Global	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Salud	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Ozono Fotoquímico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Acidificación Agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
DQO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Ecotoxicidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Eutrofización	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Residuos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Uso Suelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
Coste Capital	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	7	7	7	7	7	7	7	7
Coste Generacion	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	7	7	7	7	7	7	7	7
Aceptacion Social	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
Reservas	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
Independencia Importacion	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
Garantía Suministro	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
Empleo	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
Residuos Intergeneracionales	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
Impacto Cambio Climático	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1
	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	4.11	4.11	22.43	22.43	22.43	22.43	22.43	22.43	22.43	22.43
Matriz Normalizada MNC																				
	Acidificación Atmosférica	Calentamiento Global	Salud	Ozono Fotoquímico	Acidificación Agua	DQO	Ecotoxicidad	Eutrofización	Residuos	Uso Suelo	Coste Capital	Coste Generacion	Aceptacion Social	Reservas	Independencia	Importacion	Garantía Suministro	Empleo	Residuos Inter.	Impacto Cambio Climático
Acidificación atmosférica	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Calentamiento Global	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Salud	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Ozono Fotoquímico	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Acidificación Agua	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
DQO	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Ecotoxicidad	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Eutrofización	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Residuos	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Uso Suelo	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0270	0.0270	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064
Coste Capital	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.2432	0.2432	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121
Coste Generacion	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.1169	0.2432	0.2432	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121	0.3121
Aceptacion Social	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
Reservas	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
Independencia Importacion	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
Garantía Suministro	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
Empleo	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
Residuos Intergeneracionales	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
Impacto Cambio Climático	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0347	0.0347	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Matriz de Prioridad de las Alternativas-Criterios (MPAC)																				
	Acidificación Atmosférica	Calentamiento Global	Salud	Ozono Fotoquímico	Acidificación Agua	DQO	Ecotoxicidad	Eutrofización	Residuos	Uso Suelo	Coste Capital	Coste Generacion	Aceptacion Social	Reservas	Independencia	Importacion	Garantía Suministro	Empleo	Residuos Inter.	Impacto Cambio Climático
Carbon	0.10	0.10	0.83	0.13	0.10	0.10	0.88	0.17	0.83	0.90	0.83	0.83	0.10	0.13	0.17	0.50	0.17	0.75	0.10	0.10
Biomasa	0.90	0.90	0.17	0.88	0.90	0.90	0.13	0.83	0.17	0.10	0.17	0.17	0.90	0.88	0.83	0.50	0.83	0.25	0.90	0.90
VPC	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.20	0.20	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	0.52																			
	0.48																			