

# Proyecto Fin de Máster Ingeniería Industrial

## Modelo Biomass Universal District Heating para Evaluaciones de Sostenibilidad

Autor: Gonzalo Quirosa Jiménez

Tutores: Ricardo Chacartegui Ramírez

Víctor Manuel Soltero Sánchez

**Dpto. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Máster  
Ingeniería Industrial

# **Modelo Biomass Universal District Heating para Evaluaciones de Sostenibilidad**

Autor:

Gonzalo Quirosa Jiménez

Tutores:

Ricardo Chacartegui Ramírez

Víctor Manuel Soltero Sánchez

Dpto. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Máster: Modelo Biomass Universal District Heating para Evaluaciones de Sostenibilidad

Autor: Gonzalo Quirosa Jiménez

Tutores: Ricardo Chacartegui Ramírez  
Víctor Manuel Soltero Sánchez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mis padres*

*A mis amigos*

*A mis compañeros*

*A mis profesores*





# Agradecimientos

---

Antes que nada, dar gracias a mi círculo más cercano, que son mis padres y amigos. Mis padres me han proporcionado toda la educación y estabilidad necesaria, así como la oportunidad de poder desarrollarme profesionalmente dentro de la universidad. Mis amigos han supuesto un gran apoyo tanto en el ámbito académico como en el personal, combinando perfectamente los momentos de cumplir con nuestra responsabilidad con los de desconexión, que son igualmente vitales. Sin el apoyo de estos dos grupos, me hubiera sido imposible completar mis estudios.

A mis compañeros de universidad por ayudarnos mutuamente, consiguiendo formar así un grupo en el que apoyarnos y poder superar los obstáculos que se iban presentando. También destacar que he tenido tanta relación con algunos de estos compañeros, que ya han pasado a ser mis amigos y no nos vincula por tanto, una mera relación estudiantil.

Gracias a los profesores que realmente les motiva su profesión, porque claramente son con los que los alumnos hemos conseguido aprender más, ya que estudiar no tiene que ser una actividad tediosa y agobiante. La tarea de un profesor es enseñar y transmitir conocimientos útiles de forma efectiva, eficiente y aplicando siempre los niveles oportunos de ética, por lo que es una profesión vital y bastante compleja. Por eso doy las gracias a los buenos profesores que he tenido durante todo mi periodo académico, no únicamente en la universidad.

Gracias por último a la universidad por permitir, dentro de sus posibilidades, que los alumnos podamos alcanzar los objetivos que buscamos dentro del mundo profesional.

*Gonzalo Quirosa Jiménez*  
*Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla*  
*Sevilla, 2019*



El cambio climático, los niveles de emisiones contaminantes, aumento de la demanda energética mundial, o la gestión de residuos como los nucleares son unas de las mayores problemáticas a las que se enfrenta la comunidad científica actualmente. Realmente, la tecnología necesaria para solucionar todos estos problemas ya se encuentra desarrollada en gran medida pero existen otros intereses en juego que afectan a la intención de revertir esta situación.

En el ámbito de la generación y distribución de energía térmica, las redes de calefacción o district heating son una de las mejores herramientas para combatir gran parte de los inconvenientes que se presentan en ella. Gracias a estas instalaciones se puede mejorar la eficiencia energética a la vez que puede basarse en fuentes o totalmente renovables o menos contaminantes que la actuales. Sin embargo, son sistemas que exceptuando algunas zonas en las que sí existen de forma tradicional, no han llegado a penetrar como es debido en la gran mayoría de países. Existen numerosas barreras de tipo social o regulatorias que se oponen al desarrollo de este tipo de tecnología.

Desde este estudio, se es consciente del gran potencial que poseen y se pretende promover su uso para poder alcanzar los objetivos medioambientales. El objetivo de este trabajo es el de desarrollar un modelo basado en relaciones entre agentes que permite evaluar la sostenibilidad del sistema en su conjunto. La sostenibilidad será desde el punto de vista medioambiental, social y económico. Además el modelo permitirá identificar y remover algunas de las principales barreras que impiden el desarrollo de esta tecnología. El modelo se llama Biomass Universal District Heating (BioUnivDH), porque se establecerá para su uso en redes de calefacción que usen biomasa como combustible.

El modelo permite realizar evaluaciones globales pero también consigue encontrar las fortalezas y debilidades de los proyectos pudiendo tomar las medidas adecuadas para mejorarlos. También analiza las relaciones que tienen los diferentes agentes que entran en juego y cuantifica el nivel de las mismas, de forma que es capaz de jerarquizar la influencia y los intereses que poseen dentro del conjunto. Las salidas del modelo serán parámetros, indicadores o gráficas, por lo que facilitará la comparación entre distintas alternativas y la toma de decisiones.

En el estudio de investigación presente se presentará la metodología seguida para alcanzar el objetivo anterior, explicando las bases en las que se fundamenta, como son la descomposición en subsistemas y en agentes. Se explicará de forma detallada como son las relaciones que se generan, basándose en factores de sostenibilidad que son hechos concretos y tangibles que realizan los distintos agentes. Una vez presentado el procedimiento a seguir y su fundamento, se implementará el modelo con ayuda de softwares de cálculo.

Tras la metodología y para aumentar la comprensión que se tiene del modelo, se aplicará el modelo a cuatro casos prácticos reales. En ellos se analizarán resultados generales de sostenibilidad, sus fortalezas y debilidades y circunstancias y características más concretas, realizando también una comparación entre cada una de las alternativas.

Finalmente, después de todo lo anterior y tras haber demostrado el potencial del modelo BioUnivDH, se comentará que el mismo puede aplicarse a cualquier tipo de sistema y bajo casi cualquier tipo de circunstancia o nivel de precisión. Entre otras cosas, permite realizar estudios de viabilidad de implantación en zonas geográficas.

Justamente la flexibilidad y versatilidad que posee el modelo es su punto fuerte, ya que permite adaptarlo en función de las necesidades que se tengan en cada caso. Este trabajo por tanto, posee este objetivo principal: diseñar y desarrollar un modelo de relaciones entre agentes que permite realizar evaluaciones de sostenibilidad de tipo medioambiental, social y económica, demostrar el gran potencial que posee el mismo aplicándolo a casos de estudio, así como mostrar la capacidad del modelo para poder identificar y remover las posibles barreras que impidan el desarrollo de las redes de calefacción con biomasa.



Climate change, pollutant emission levels, increased global energy demand, or waste management such as nuclear are some of the biggest problems facing the scientific community today. Actually, the technology necessary to solve all these problems is already developed but there are other interests that affect the intention to reverse this situation.

In the field of thermal energy generation and distribution, heating or district heating networks are one of the best tools to combat much of the inconveniences that arise in it. Thanks to these facilities, energy efficiency can be improved while it can be based on sources totally renewable or less polluting than today. However, they are systems that, except for some areas in which they exist in a traditional way, have not been able to penetrate properly in the vast majority of countries. There are numerous social or regulatory barriers that oppose the development of this type of technology.

From this study, we are aware of the great potential they have and intend to promote their use in order to achieve environmental objectives. The objective of this work is to develop a model based on relationships between agents that allows evaluating the sustainability of the system as a whole. Sustainability will be from the environmental, social and economic point of view. In addition, the model will identify and remove some of the main barriers that prevent the development of this technology. The model is called Biomass Universal District Heating (BioUnivDH), because it will be established for use in heating networks that use biomass as fuel.

The model allows global evaluations but also manages to find the strengths and weaknesses of the projects and can take appropriate measures to improve them. It also analyzes the relationships that have the different agents and quantifies the level of them, so that it is able to rank the influence and the interests that they have within the group. The outputs of the model will be parameters, indicators or graphs, so it will facilitate the comparison between different alternatives and decision making.

In the present research study, the methodology to achieve the previous objective will be presented, explaining the basis on which it is based, such as decomposition into subsystems and agents. It will be explained specifically how are the relationships that are generated, specific in sustainability factors that are concrete and tangible facts that the different agents perform. Once the procedure to be followed has been presented, the model will be implemented with the help of calculation software.

After the methodology and to increase the understanding of the model, the model will be applied to four real case studies. General sustainability results will be analyzed, their strengths and weaknesses and more specific circumstances and characteristics, also making a comparison between each of the alternatives.

Finally, after having demonstrated the potential of the BioUnivDH model, it will be commented that it can be applied to any type of system and under almost any type of circumstance or level of precision. Among other things, it allows carrying studies of potential of implementation in geographical areas.

Precisely the flexibility and versatility that the model has is its strong point, since it allows it to be adapted according to the needs of each case. This work therefore has this main objective: to design and develop a model of relationships between agents that allows environmental, social and economic sustainability evaluations to be carried out, to demonstrate the great potential that it possesses by applying it to case studies, as well as to show the ability of the model to identify and remove possible barriers that prevent the development of biomass heating networks.



<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xviii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xx</b>
<b>Notación</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 Estado del Arte</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Bloque I: Situación Energética Actual</i>	1
1.1.1 Generalidades	1
1.1.2 Energía Térmica	5
1.1.3 Energía Térmica en Zonas Rurales	6
1.2. <i>Bloque II: District Heating</i>	7
1.1.4 Características Principales de los DH	7
1.1.5 Estado de Desarrollo de los DH en el Mundo	8
1.1.6 Ventajas y Beneficios de los DH	12
1.3. <i>Bloque III: Barreras e Inconvenientes de los DH</i>	14
1.4. <i>Bloque IV: Biomasa y District Heating</i>	16
1.1.7 Biomasa	16
1.1.8 Definición del Concepto BioDH	17
<b>2 Objetivos y Alcance</b>	<b>20</b>
<b>3 Metodología Modelo BioUnivDH</b>	<b>23</b>
3.1. <i>INTRODUCCIÓN Y ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA</i>	23
3.2. <i>ESTUDIOS PREVIOS</i>	25
3.3. <i>MODELO BIOMASS UNIVERSAL DISTRICT HEATING (PRIMERA PARTE)</i>	25
3.1.1 Introducción BioUnivDH	25
3.1.2 Subsistemas del BioUnivDH	26
3.1.3 Agentes Implicados BioUnivDH	28
3.1.4 Factores de Sostenibilidad. Relaciones entre los Agentes	30
3.4. <i>CUESTIONARIO DE VALORACIÓN</i>	39
3.5. <i>MODELO BIOMASS UNIVERSAL DISTRICT HEATING (SEGUNDA PARTE)</i>	39
3.6. <i>EVALUACIÓN BIOMASS UNIVERSAL DISTRICT HEATING</i>	43
<b>4 Casos de Estudio</b>	<b>47</b>
4.1. <i>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</i>	47
4.2. <i>EXPLICACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIOS Y DATOS GENERALES</i>	47
4.3. <i>APLICACIÓN DEL MODELO</i>	48
4.4. <i>EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS</i>	59
4.4.1 Caso 1	60
4.4.2 Caso 2	62
4.4.3 Caso 3	65

4.4.4	Caso 4	68
4.5.	<i>COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS</i>	71
5	<b>Discusión y Mejoras Futuras</b>	<b>78</b>
6	<b>Conclusiones</b>	<b>81</b>
	<b>Referencias</b>	<b>84</b>
7	<b>Anexo A - Tabla de Factores de Sostenibilidad</b>	<b>88</b>
8	<b>Anexo B - Tabla de Valores Límites del Cuestionario de Evaluación</b>	<b>90</b>
9	<b>Anexo C - Tabla de Ponderadores Parciales de los Factores de Sostenibilidad</b>	<b>92</b>
10	<b>Anexo D - Resultados de los Casos de Estudio</b>	<b>94</b>





# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1-1 Situación, nivel de implementación y posible potencial de los district heating en la Unión Europea [28]	10
Tabla 4-1 Datos generales de los casos de estudio	48
Tabla 4-2 Leyenda agentes implicados	49
Tabla 4-3 Comparación resultados de los casos de estudio	72
Tabla 4-4 Comparativa agentes influyentes	74
Tabla 4-5 Comparativa agentes interesados	74



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1 Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables, entre 2004 y 2016 en los países europeos (en % del consumo final bruto de energía) [2]	2
Figura 1-2 Producción primaria de energía procedente de fuentes renovables, EU-28, 1990-2016 [2]	2
Figura 1-3 Datos relevantes de capacidad energética renovable a nivel mundial [4]	3
Figura 1-4 Generación bruta de electricidad procedente de fuentes renovables, EU-28, 1990-2016 [2]	3
Figura 1-5 Principales datos del consumo en el sector residencial en España [12]	6
Figura 1-6 Modelo de district heating and cooling en smart cities [16]	7
Figura 1-7 Suministro de calor en todos los district heating del mundo entre 1990 y 2014 según cuatro métodos de suministro de calor diferentes [26]	9
Figura 1-8 Suministro de calor en todos los district heating del mundo entre 1990 y 2014 según las fuentes de suministro de energía originales utilizadas [26]	9
Figura 1-9 Suministro de calor en todos los district heating de la Unión Europea entre 1990 y 2014 según cuatro métodos de suministro de calor diferentes [26]	9
Figura 1-10 Suministro de calor en todos los district heating de la Unión Europea entre 1990 y 2014 según las fuentes de suministro de energía originales utilizadas [26]	10
Figura 1-11 Potencia instalada en sistemas district heating por comunidades autónomas de España [27]	11
Figura 1-12 Uso final de los district heating en España. Porcentajes referidos a potencia instalada [27]	11
Figura 1-13 Fuentes energéticas empleadas en los district heating en España. Porcentajes referidos a potencia instalada [27]	11
Figura 1-14 Esquema de ciclo de vida de la biomasa forestal [44]	16
Figura 1-15 Disponibilidad estimada de biomasa forestal, expresado como potencial no utilizado por unidad de tierra (a; $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ) y como proporción del potencial de biomasa total en la región (b ;% $\cdot año^{-1}$ ) [46]	17
Figura 3-1 Esquema de la metodología del modelo BioUnivDH	24
Figura 3-2 (Izquierda) Subsistemas y agentes del modelo BioUnivDH; (Derecha) Relación entre distintos BioUnivDH a través de los recursos forestales y agrícolas disponibles [14]	28
Figura 4-1 Indicador global de sostenibilidad del caso 1	60
Figura 4-2 Gráfico influencia de los agentes del caso 1	60
Figura 4-3 Gráfico interés de los agentes del caso 1	60
Figura 4-4 Gráficos niveles de relación entre agentes del caso 1	62
Figura 4-5 Indicador global de sostenibilidad del caso 2	63
Figura 4-6 Gráfico influencia de los agentes del caso 2	63
Figura 4-7 Gráfico interés de los agentes del caso 2	63
Figura 4-8 Gráficos niveles de relación entre agentes del caso 2	65
Figura 4-9 Indicador global de sostenibilidad del caso 3	65
Figura 4-10 Gráfico de influencia de los agentes del caso 3	66
Figura 4-11 Gráfico interés de los agentes del caso 3	66

Figura 4-12 Gráficos niveles de relación entre agentes del caso 3	68
Figura 4-13 Indicador global de sostenibilidad del caso 4	68
Figura 4-14 Gráfico influencia de los agentes del caso 4	69
Figura 4-15 Gráfico de interés de los agentes del caso 4	69
Figura 4-16 Gráfico niveles de relación entre agentes del caso 4	71
Figura 4-17 Comparación gráficas influencia de los casos 3 (izquierda) y 4 (derecha)	75
Figura 4-18 Comparación gráficas interés de los casos 3 (izquierda) y 4 (derecha)	75



$B_{ij}$	Matriz de Interés
$C_{ij}$	Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes
$D_{ij}$	Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados
$FS_{ij}^w$	Factores de Sostenibilidad
$I_{ij}$	Matriz de Influencia
$P_{ij}$	Matriz de Ponderación de Relación entre Agentes
$R_{ij}$	Indicadores de Relación entre Agentes
$k_{ij}^w$	Ponderadores Parciales de los Factores de Sostenibilidad
$S$	Factor de Sostenibilidad Global del Sistema
A	Ayuntamiento
ACS	Agua Caliente Sanitaria
BioDH	Biomass District Heating
BioUnivDH	Biomass Universal District Heating
CA	Cooperativas Agrícolas
DC	District Cooling
DH	District Heating
DHC	District Heating and Cooling
EF	Entidades Financieras
ESB	Empresa Suministradora de Biomasa
GM	Gestor del Monte
GMA	Gestor Medioambiental
P	Promotor
TR	Titulares del Recurso
U	Usuarios





# 1 ESTADO DEL ARTE

---

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Universidad de Sevilla*

*Sevilla, 2019*

Se procede a exponer el Estado del Arte en el que se encuentra enmarcado este trabajo. Se partirá de los conceptos más generales y comunes para ir poco a poco focalizando la atención en los temas realmente vitales y útiles que se requieren conocer de forma previa para comprender este estudio. Lo que se pretende es poner en situación a los lectores de forma que puedan comprender mejor el objetivo y la finalidad del mismo.

Los conceptos se irán presentando por bloques, en función del área en la que se encuentren. Existe un total de cuatro bloques, que irán tratando progresivamente aspectos más específicos.

## 1.1. Bloque I: Situación Energética Actual

### 1.1.1 Generalidades

El calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono, la deforestación masiva de bosques y selvas, la gestión de residuos radiactivos y el consumo humano irresponsable son algunos de los aspectos que conllevan a destrucción progresiva del ecosistema tal y como lo conocemos y por tanto hacen que el desarrollo del ser humano no sea sostenible a lo largo del tiempo. Además esta problemática se encuentra más que demostrada y asumida por la comunidad científica, por lo que ignorar el problema es una falta de responsabilidad de un nivel muy elevado.

De una forma más específica, la generación, transporte y consumo de energía en todas sus variantes es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la sociedad actual. El sector energético mundial es el causante de la mayor parte de las emisiones que se emiten diariamente a la atmósfera; en concreto, a nivel mundial el sector energético es el causante del 70.6% de las emisiones totales y en el caso de Europa, asciende al 75.2% [1] (Datos del año 2015).

Si se tiene en cuenta la energía en todas sus formas, el consumo final bruto procedente de fuentes renovables en Europa fue de un 17% en 2016, siendo la madera y otros combustible sólidos las fuentes que representaron mayor cobertura de la producción primaria renovable (49.4%) [2]. La energía térmica es la que representa un mayor porcentaje de consumo final de energía (sobre el 50% total) [3] y se tratará de forma aislada al resto más adelante en este trabajo.

En la Figura 1-1 se puede ver el porcentaje de energía procedente de fuentes renovables en los países europeos y en la Figura 1-2 se puede ver la producción primaria de energía procedente de fuentes renovables.

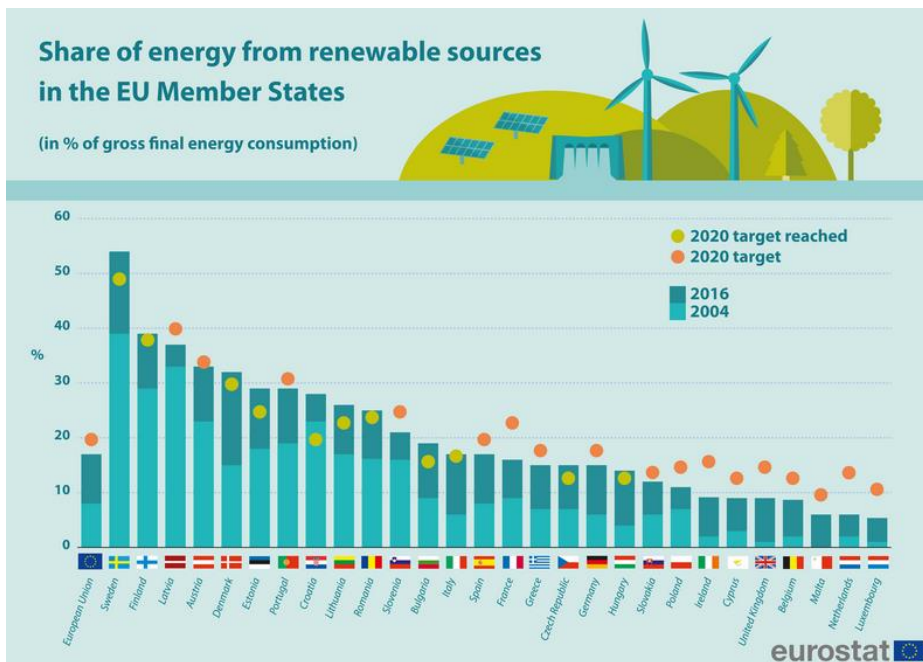


Figura 1-1 Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables, entre 2004 y 2016 en los países europeos (en % del consumo final bruto de energía) [2]

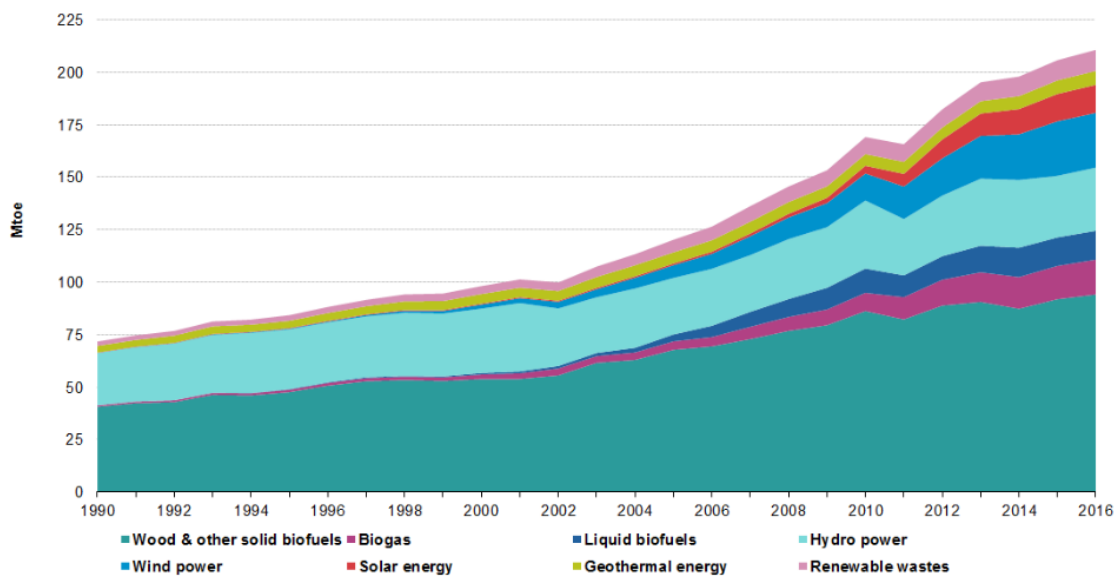


Figura 1-2 Producción primaria de energía procedente de fuentes renovables, EU-28, 1990-2016 [2]

Una de las mayores problemáticas es que gran parte de la potencia eléctrica instalada en el mundo está relacionada con tecnologías de generación no renovables, ya que en la mayoría de ellos se usan combustibles fósiles en sus procesos.

A nivel mundial, existían 2351 GW de capacidad instalada de origen renovable a finales de 2018, con un crecimiento en ese año del 7.9% [4]. En la Figura 1-3 se puede ver los principales datos mundiales de capacidad renovable.

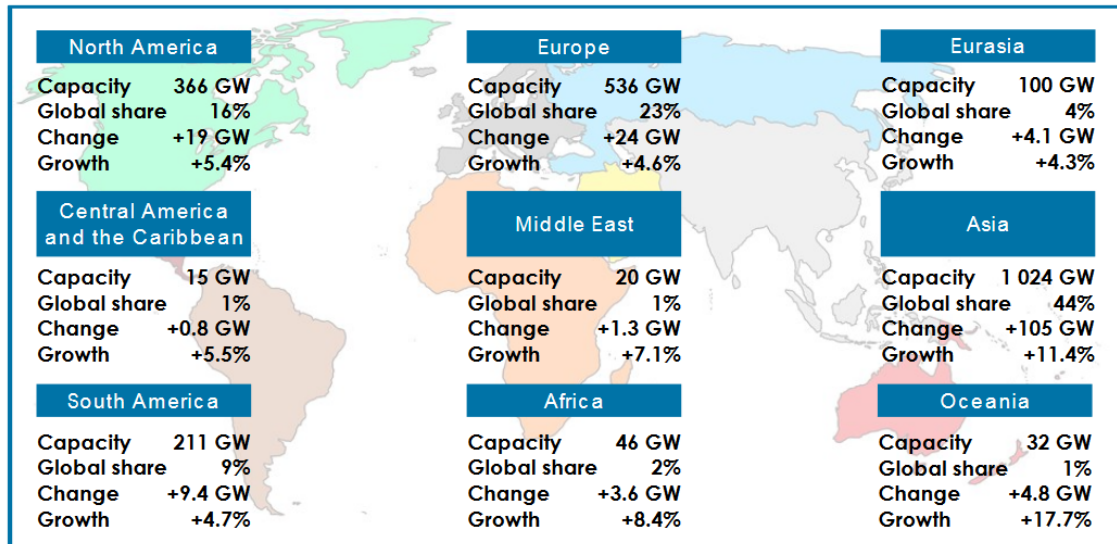


Figura 1-3 Datos relevantes de capacidad energética renovable a nivel mundial [4]

Si se habla de la cobertura de generación eléctrica, en 2015 solo el 22.66% de la energía generada provino de fuentes energéticas renovables a nivel mundial, siendo la energía hidráulica la encargada de cubrir un 15.9% y el resto de fuentes renovables un 6.77% [5]. En el caso de Europa, el 29.2% de la energía generada en 2015 provino de fuentes renovables [5], [6]. En la Figura 1-4 se puede ver la “generación bruta de electricidad procedente de fuentes renovables, EU-28, 1990-2016”.

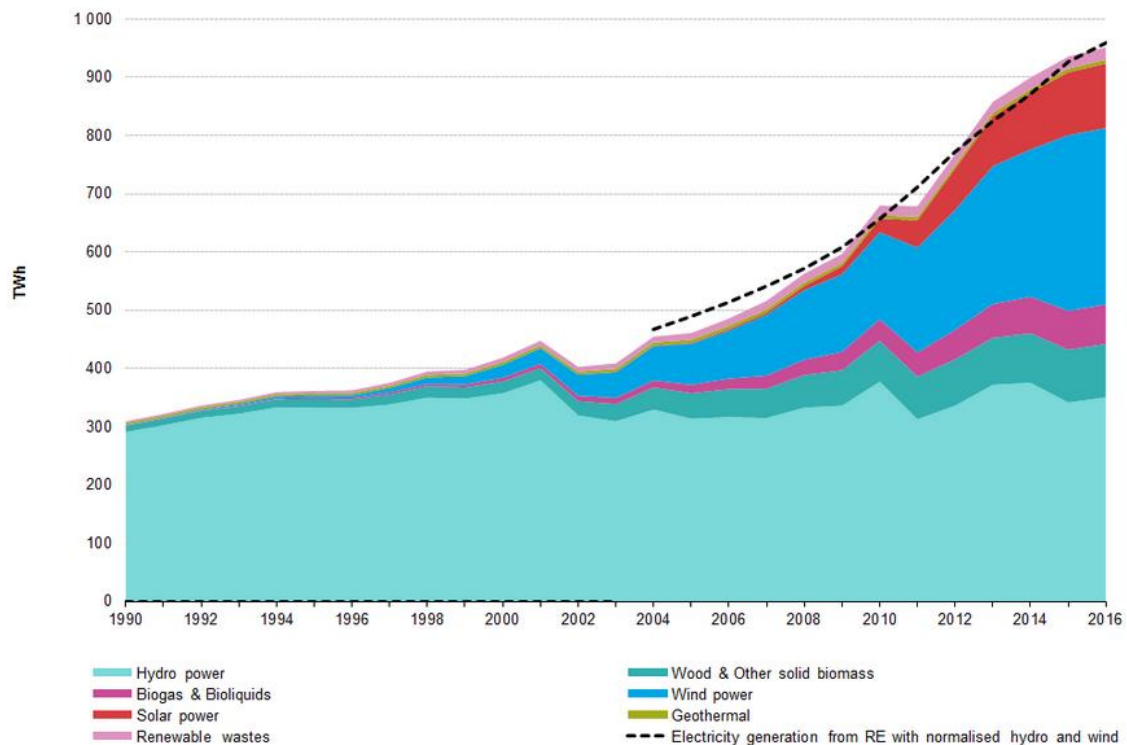


Figura 1-4 Generación bruta de electricidad procedente de fuentes renovables, EU-28, 1990-2016 [2]

En el ámbito de emisiones de partículas contaminantes, la generación basada en combustibles fósiles como el gasoil, diésel, gas natural, carbón o queroseno, son los grandes culpables de que se alcancen cada año valores que no garantizan la sostenibilidad del planeta. En el caso particular de España, el sector con más peso del total de las emisiones es el del transporte (27%), posteriormente la industria (19%) y después la electricidad (17%) [7].

Tampoco hay que olvidar la gran problemática existente relacionada con la producción, gestión y almacenamiento de residuos radiactivos, gran parte de ellos producidos en centrales nucleares de generación

eléctrica. Esta energía, vendida por algunas corporaciones como “energía limpia”, no posee emisiones directas de CO<sub>2</sub>, pero sí que tiene asociados otros muchos problemas de gran envergadura que hace que no sea un sistema sostenible para basar la producción energética mundial en ella.

En [8] se discuten los aspectos claves por los que la comunidad científica se encuentra dividida en el tema de que si es interesante llevar a cabo una mayor implantación de energía nuclear a nivel mundial o no. Estos aspectos claves que se tratan son los siguientes:

- Sostenibilidad del ciclo de vida del combustible, junto con la actividad minera que se desarrolla.
- Gestión de residuos radiactivos a lo largo de los años.
- Superioridad en la economía, teniendo en cuenta inversiones, mantenimiento y sobrecostos.
- Seguridad y proliferación de armamento nuclear, así como ser zonas de alta actividad militar al tratarse de puntos claves de posibles ataques.
- Liberación accidental de cantidades masivas de radioactividad al medioambiente debido a accidentes técnicos, humanos o situaciones ambientales adversas.

Por otro lado, debido principalmente al incremento de población de los países en desarrollo (principalmente India y China), el consumo de energía final se encuentra en un progresivo aumento año tras año, lo que hace que los aspectos que se acaban de comentar se conviertan en más críticos aún. Las 1700 millones de personas más que existirán principalmente en las economías en desarrollo, junto con el escenario de nuevas políticas e ingresos crecientes, harán que la demanda energética a nivel mundial aumente en más de un cuarto para el año 2040 [9].

Debido a la situación descrita, la sociedad actual se enfrenta al reto obligado de cambiar radicalmente la forma de producir energía para que el consumo de la misma, ya sea de forma eléctrica o térmica, sea sostenible con el medio ambiente. Para alcanzar estos objetivos será necesario alcanzar los siguientes aspectos:

- Conseguir que las tecnologías de generación energética estén basadas en fuentes renovables, de forma que el consumo de energía no ponga en peligro a la sostenibilidad del ecosistema.
- Para alcanzar el punto anterior, será vital investigar e implantar sistemas de almacenamiento energéticos que también sean sostenibles medioambientalmente, con la finalidad de que las fluctuaciones que poseen los sistemas no gestionables de generación renovable se puedan paliar y controlar para adaptar la generación a la demanda existente en cada momento.
- Para controlar el aumento progresivo de la demanda energética mundial, solo es posible aplicar a todos los ámbitos y situaciones el concepto de eficiencia energética, de forma que los equipos, instalaciones y sistemas vayan reduciendo su consumo al estar basados en tecnologías más avanzadas e innovadoras.

Para conseguir todos estos objetivos, los países deben alinear sus estrategias para compartir recursos, conocimientos e intereses, ya que el problema que se pretende tratar afecta a todos y cada uno de ellos. Aunque por otro lado, está más que demostrado que este alineamiento entre países no suele ser fácil llevarlo a cabo, debido a la situación particular de cada uno de ellos.

Una de las claves para que sean eficientes y efectivas estas estrategias es que el marco regulatorio y legislativo sea el óptimo para favorecer la consecución de los objetivos. El paquete de medidas más conocido actualmente para fomentar los objetivos climáticos y energía dentro de la Unión Europea es el Objetivo 20/20/20 [10], el cual contiene legislación vinculante para garantizar el cumplimiento de los siguientes objetivos fundamentales:

- Obtener un 20% de reducción de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), considerando los niveles de 1990.
- Alcanzar una tasa del 20% de energías renovables en la Unión Europea.
- Mejorar la eficiencia energética en un 20%.

El marco sobre clima y energía para 2030 tiene como base el paquete anterior y propone los siguientes objetivos que se irán desarrollando gracias a la creación de nueva legislación [11]:

- Obtener un 40% de reducción de las emisiones de GEI, considerando los niveles de 1990.

- Alcanzar una cuota del 27% de energías renovables en la Unión Europea.
- Mejorar la eficiencia energética en un 27%.

### 1.1.2 Energía Térmica

En el informe realizado por la IEA (International Energy Agency) en 2018 [3], se recogen los siguientes aspectos relacionados con la energía térmica a nivel mundial:

- La energía térmica es la que tiene mayor peso dentro de todas las energías de uso final.
- El suministro de calor para los hogares, procesos industriales y otras aplicaciones supone el 50% del consumo total de energía en el mundo.
- Un poco más del 50% se empleó para fines industriales.
- El 46% se utilizó para calentar espacios, agua y cocinar en edificaciones.
- El porcentaje restante se empleó para labores de agricultura.
- En 2017, solo el 10% de la energía térmica se generó a partir de fuentes energéticas renovables.

En este trabajo, se focaliza la atención y se analiza el sector de climatización y producción de agua caliente sanitaria (ACS) dentro de las construcciones, por lo que se está tratando con aproximadamente el 23% de la energía mundial consumida, cantidad nada insignificante por tanto.

En el caso de España, en la gran mayoría de las viviendas, la generación térmica no es centralizada, es decir, cada usuario posee su equipo de producción aislado, ya sea para ACS o para refrigeración y calefacción. Si se piensa desde el punto de vista de la eficiencia energética, se puede comprobar fácilmente que la generación distribuida no renovable no es la mejor solución posible, debido al menor rendimiento y mantenimiento que poseen estos equipos individuales y aislados.

Gran parte de estos sistemas de energía térmica están basados en combustibles fósiles o en energía eléctrica (que indirectamente también se encuentra relacionada con éstos), de forma que los efectos negativos para el medioambiente se encuentran claramente presentes a la hora de producir calor o frío, ya sea en las industrias o en los edificios.

Según los datos proporcionados por Eurostat junto con el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), los datos principales de consumos en el sector residencial en España se pueden apreciar en la Figura 1-5:

### 1.-Consumo de los Hogares en España

Consumo Total: 14.676 ktep  
 Consumo Total Medio por hogar: 0,852 tep  
 Consumo de Electricidad Medio por Hogar: 3.487 kWh  
 % Consumo Final: 17%  
 % Consumo de Electricidad: 25%

### 4.- Estructura del Consumo Total (%) según Fuentes Energéticas

Electricidad:	35,1%
Gas Natural:	24,9%
Derivados del Petróleo:	22,1%
Energías Renovables:	17,7%
Carbón:	0,1 %
TOTAL:	100,0%

### 5.- Estructura del Consumo Total (%) según Servicios

Calefacción:	47,0%
ACS:	18,9%
Cocina:	7,4%
Refrigeración:	0,8%
Iluminación:	4,1%
Electrodomésticos:	19,4%
Standby:	2,3%

Figura 1-5 Principales datos del consumo en el sector residencial en España [12]

### 1.1.3 Energía Térmica en Zonas Rurales

Si se focaliza el estudio en las zonas rurales, la generación, distribución y consumo de energía térmica posee algunas peculiaridades no despreciables frente a las condiciones que se dan en lugares con grandes aglomeraciones de personas. Estas características especiales que se dan en las zonas rurales, teniendo en cuenta que se podrán cumplir en mayor o menor medida en función del caso particular que sea, son las siguientes [13], [14]:

- La densidad de población es mucho menor, con mayor número de viviendas unifamiliares y menor número de pisos o bloques.
- La superficie media de las viviendas es mayor que en las grandes urbes.
- Las condiciones climatológicas suelen ser más exigentes, por lo que los requerimientos necesarios para alcanzar el confort térmico serán también mayores.
- En estas zonas no suele existir suministro de gas natural y el precio de combustibles como gasoil, metano o butano, es más elevado que en las ciudades, debido al incremento en los costes de transporte.
- El nivel de ingresos también suele ser menor, lo que conlleva junto con lo anterior a un mayor nivel de riesgo de pobreza energética.
- Estas zonas suelen encontrarse cercanas a recursos forestales o agrícolas y la biomasa es uno de los combustibles que más se emplea en estas zonas rurales.
- Las construcciones suelen ser antiguas por lo que no poseen unas buenas características de eficiencia energética.
- Gran parte de las viviendas están deshabitadas o son de segunda residencia; este factor será importante a la hora de evaluar la demanda.

Por todos estos factores, los proyectos energéticos que se desarrollen en las zonas rurales tendrán que tener en cuenta una serie de factores y circunstancias que son notablemente diferentes a las existentes en las ciudades. Por tanto, será necesario realizar un cambio de enfoque y de metodología de trabajo, en función de la localización, de forma que los proyectos no sean particulares y tengan en cuenta las condiciones de cada caso.

## 1.2. Bloque II: District Heating

### 1.1.4 Características Principales de los DH

Los sistemas district heating están considerados como una de las mejores soluciones para solucionar parte de los problemas actuales relacionados con la generación, distribución y consumo de energía térmica, a la vez que se mejora la eficiencia energética respecto a los sistemas actualmente implantados.

Los district heating o redes de calefacción urbanas son instalaciones centralizadas de producción de calor conectadas a una red de distribución de agua caliente que conecta la central de generación con las edificaciones consumidoras. Tienen en el objetivo de satisfacer las demandas de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y de calefacción [15].

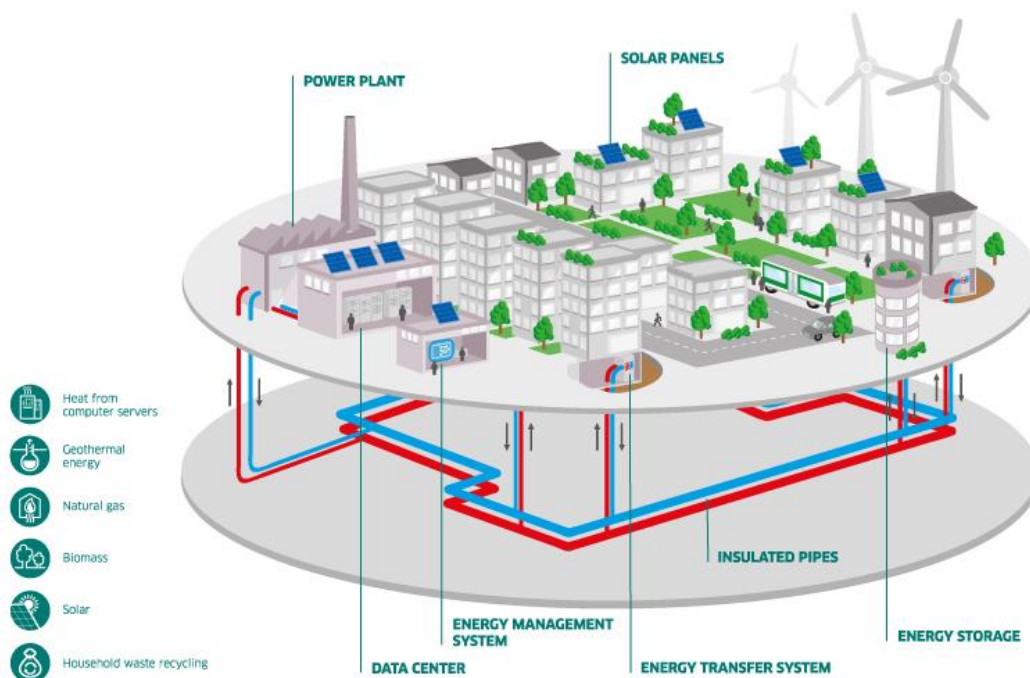


Figura 1-6 Modelo de district heating and cooling en smart cities [16]

De esta forma, cada edificio se conecta a través de subestaciones de intercambio con la red de distribución (normalmente subterránea) para conseguir la energía térmica que requiere su demanda, sin necesidad de poseer sistemas de generación individuales para cada usuario.

La central o centrales de generación serán las encargadas de producir toda (o casi la totalidad) la demanda que requieren los edificios que se encuentran conectados a la red, de forma que son sistemas de potencia considerable, con mantenimiento y características óptimas, los cuales hacen que el rendimiento global del sistema sea mayor al producirse una generación a gran escala en vez de distribuida.

Además, al tratarse de sistemas centralizados, será relativamente sencillo cambiar la tecnología de generación, adaptándose en cada situación a la solución que sea más óptima e interesante. Por ejemplo, en las ciudades puede ser interesante emplear gas natural como combustible, mientras que en las zonas rurales puede ser mejor usar biomasa. También hay que tener en cuenta que será más sencilla la inclusión de fuentes energéticas renovables al estar localizada la producción.

Esta variedad de fuentes energéticas posibles para integrarlas en los district heating hace que la comunidad científica estudie cada una de sus posibles variantes, llevando a cabo también combinaciones entre ellas para



garantizar el suministro o la estabilidad. Algunos ejemplos para demostrar la gran versatilidad de estas redes podrían ser: gas natural para las grandes urbes [17], integración de energía solar [18], energía geotérmica [19], [20], combinación de fuentes renovables incluyendo energía eólica [21], residuos orgánicos y biogás de estaciones depuradoras de aguas residuales.

Lo que es cierto, es que no hay opciones peores o mejores de forma universal, en cada caso y localización habría que realizar un estudio para comprobar qué tipo de recurso es el más interesante. Otro aspecto que se potencia gracias a esta variedad de tecnologías de generación es que convierte a estos sistemas en flexibles y adaptables, de forma que pueden llegar a implantarse en casi cualquier zona del mundo.

Un factor importante a tener en cuenta son las pérdidas energéticas que se producen en la red de distribución, las cuáles deben ser controladas usando temperaturas de impulsión y retorno adecuadas para reducir el gradiente térmico, empleando tuberías prefabricadas aisladas óptimas para estas redes y poseyendo una longitud de red que sea lo menor posible para reducir al mínimo estas pérdidas.

El modo de funcionamiento y las características operacionales irán variando a lo largo del año, adaptándose en cada momento a las fluctuaciones que posee la demanda. Por un lado, se puede considerar que la demanda de ACS es constante a lo largo del año aproximadamente, por lo que determinará el punto mínimo de funcionamiento en el que deberá trabajar el district heating, que se relacionará cuando no exista ninguna demanda de calefacción (día más caluroso del año). Por otro lado, la demanda de calefacción sí que posee una fuerte variación y dependencia en función de la localización y del periodo que se estudie.

Además los requerimientos de calefacción son bastante superiores a los de ACS si se tiene en cuenta el periodo de un año completo. Es un dato que depende en gran medida de la climatología de la zona, pero de modo aproximado se puede decir que la demanda de ACS se encuentra entre un 10 - 30% de la demanda total anual que posee la red [22].

Entonces la potencia máxima que debe poseer la central se determinará para cubrir los requerimientos que se producen en el día más frío del año, considerando también la cantidad de energía que se requiere para ACS.

Por último, otro aspecto importante de los DHC es que pueden ser sistemas óptimos para integrarlos en las redes energéticas inteligentes (Smart Energy Systems) o microredes, combinando la producción centralizada habitual con almacenamiento y generación distribuidos a lo largo de su zona de influencia, como puede ser el caso de paneles solares térmicos, fotovoltaicos o tecnología mini eólica instalados en las propias construcciones a las que abastece [23], [24].

De esta forma se consigue que las redes de climatización sigan siendo interesantes dentro de los nuevos formatos y tendencias que está teniendo el sector energético a nivel mundial.

### 1.1.5 Estado de Desarrollo de los DH en el Mundo

El desarrollo e implementación de los sistemas district heating varía fuertemente en función del país y del área geográfica. En el mundo se estima que existen unos 80000 sistemas de redes de calefacción en funcionamiento, de los cuales 6000 se encuentran en Europa (principalmente en los países nórdicos y del este); en cambio el número de redes district cooling es desconocido a nivel mundial, estimándose para el caso de Europa en unas 150 instalaciones en operación [25].

Para analizar las fuentes energéticas que se emplean en la generación de estos sistemas a nivel mundial y europeo, se muestra la Figura 1-7, Figura 1-8, Figura 1-9 y Figura 1-10. Los datos son hasta el año 2015, pero se puede comprobar la poca penetración de fuentes energéticas renovables que existía y que actualmente no se ha paliado lo suficiente. Por otro lado, sí que existe un importante aprovechamiento de calor residual de otras instalaciones, lo que supone una mejora muy importante en la eficiencia energética global del conjunto de los sistemas.



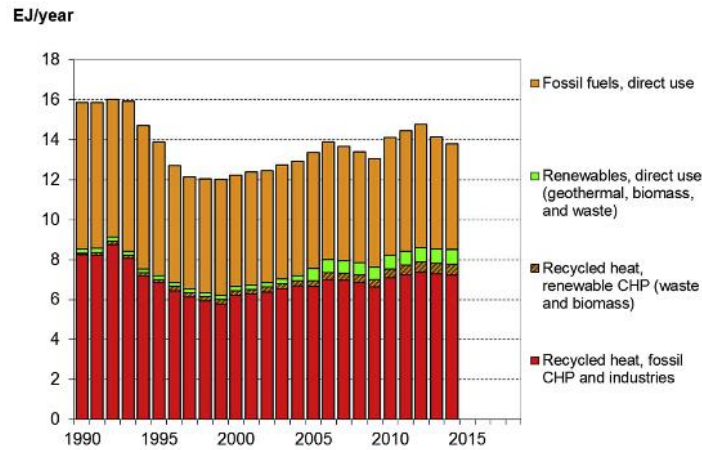


Figura 1-7 Suministro de calor en todos los district heating del mundo entre 1990 y 2014 según cuatro métodos de suministro de calor diferentes [26]

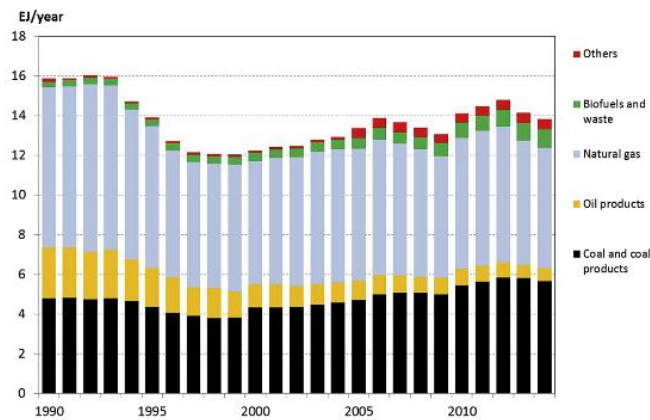


Figura 1-8 Suministro de calor en todos los district heating del mundo entre 1990 y 2014 según las fuentes de suministro de energía originales utilizadas [26]

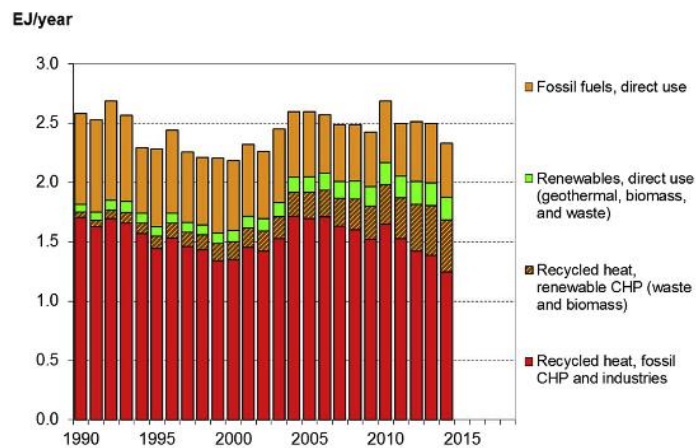


Figura 1-9 Suministro de calor en todos los district heating de la Unión Europea entre 1990 y 2014 según cuatro métodos de suministro de calor diferentes [26]

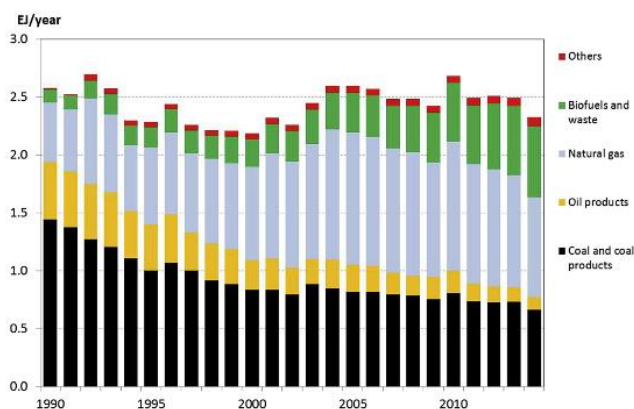


Figura 1-10 Suministro de calor en todos los district heating de la Unión Europea entre 1990 y 2014 según las fuentes de suministro de energía originales utilizadas [26]

Sin embargo en la zona sur de Europa, como en el caso de España, el grado de implantación y desarrollo es mucho menor, con 424 redes localizadas de las cuales 402 están censadas en 2018 [27], aunque las Redes de Calefacción sean también rentables e interesantes en estas zonas más cálidas.

Realmente, en el número de redes no es dónde se aprecia la menor capacidad que existe en España en el ámbito de DH comparado con otras partes de Europa; en la Tabla 1-1 se puede apreciar que mientras que en España existe un 0% virtual de personas que tienen acceso a redes de calor, existen países como Letonia donde el porcentaje es del 65% [28].

Tabla 1-1 Situación, nivel de implementación y posible potencial de los district heating en la Unión Europea [28]

	A Final total energy consumption [2] (PJ)	B Total district heating networks sales [102] (PJ)	C Percentage of citizens served by district heating [102,103]	D Maximum annual additional heat (PJ)	E DHNs feasible potential (PJ)	F Region	G Conversion cost + DHNs cost [11] (annual cost of investment in milliards of €)
	2013	2013	2013	Vision	Vision		Vision
AT – Austria	1170.2	80.7	24%	111.6	55.8	N-C	2.4
BE – Belgium	1457.1	21.0	3%	60.1	30.1	N-C	1.4
BG – Bulgaria	367.2	18.0	18%	193.0	96.5	N-C	4.2
CY – Cyprus	67.6	0.0	0%	30.2	15.1	S	1.0
CZ – Czech Republic	1000.0	89.4	38%	312.5	156.3	N-C	6.8
DE – Germany	9096.0	254.8	12%	2393.6	1196.8	N-C	52.6
DK – Denmark	594.3	105.5	63%	57.6	28.8	N-C	1.4
EE – Estonia	120.2	23.0	62%	115.2	57.6	N-C	2.6
ES – Spain	3397.0	0.0	0%	1733.0	866.5	S	52
FI – Finland	1030.6	114.2	50%	115.2	57.6	N-C	2.6
FR – France	6366.3	96.1	7%	993.2	496.6	N-C	20.2
GR – Greece	642.2	1.0	0%	286.6	143.3	S	8.6
HU – Hungary	628.8	31.0	15%	150.8	75.4	N-C	3.4
HR – Croatia	243.4	9.7	10%	41.8	20.9	N-C	1.0
IE – Ireland	449.6	0.1	0%	183.6	91.8	N-C	4.0
IT – Italy	4969.6	33.1	6%	1907.3	953.7	S	57.2
LT – Lithuania	198.3	27.1	57%	75.6	37.8	N-C	1.6
LU – Luxembourg	172.9	2.0	6%	0.0	0.0	N-C	0.0
LV – Latvia	161.4	21.5	65%	5.0	2.5	N-C	0.2
MT – Malta	21.0	0.0	0%	11.5	5.8	S	0.4
NL – Netherlands	2141.8	26.1	4%	323.3	161.7	N-C	7.2
PL – Poland	2655.0	248.7	53%	1016.7	508.4	N-C	22.4
PT – Portugal	663.5	9.0	2%	245.9	123.0	S	7.4
RO – Romania	911.0	54.0	23%	308.9	155.0	N-C	6.8
SE – Sweden	1322.8	176.0	52%	115.2	57.6	N-C	2.6
SI – Slovenia	200.9	7.7	15%	42.5	21.3	N-C	1.0
SK – Slovakia	454.9	82.7	35%	0.0	0.0	N-C	0.0
UK – United Kingdom	5712.2	41.5	2%	1998.0	999.0	N-C	44.0
<b>EU-28</b>	<b>46,214.5</b>	<b>1573.9</b>	<b>11.8%</b>	<b>12,827.9</b>	<b>6414.9</b>		<b>315.0</b>

En total se tiene que en España hay 1056 MW instalados de calor y 392 MW de frío, que abastecen a más de 5000 edificios con una longitud de redes total superior a 680 km, suponiendo un ahorro de unas 305945 t de CO<sub>2</sub> anuales [27].

En la Figura 1-11, Figura 1-12 y Figura 1-13 se pueden apreciar otros datos relevantes de la situación actual en España de los district heating and cooling, como es el caso de la potencia instalada por comunidades autónomas, sectores a los que abastecen las redes y fuentes energéticas que emplean en su funcionamiento.

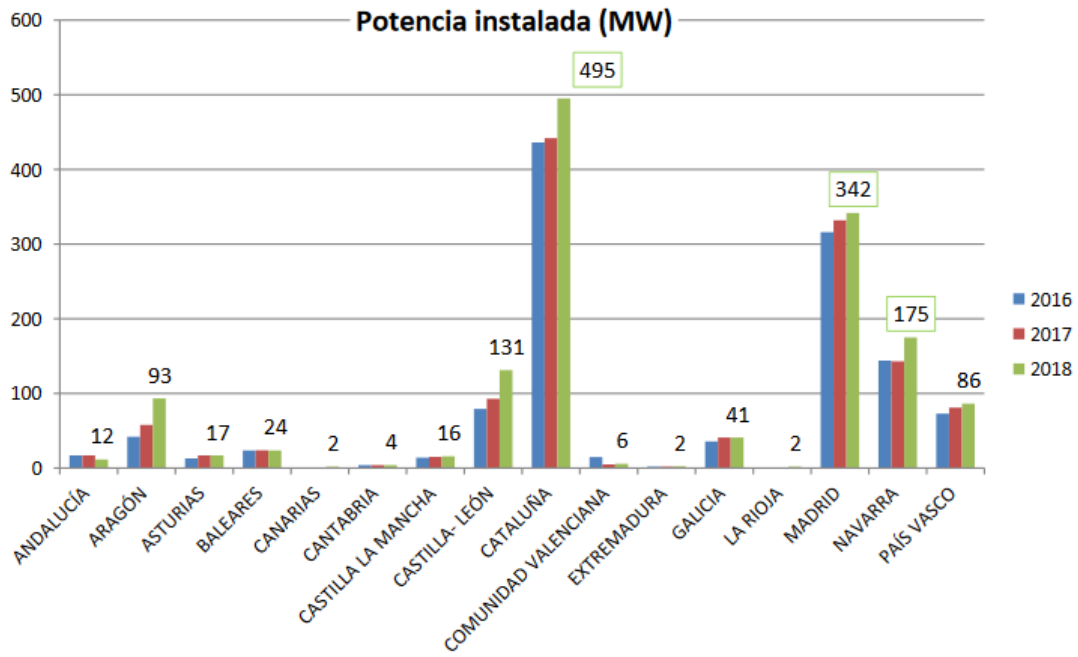


Figura 1-11 Potencia instalada en sistemas district heating por comunidades autónomas de España [27]

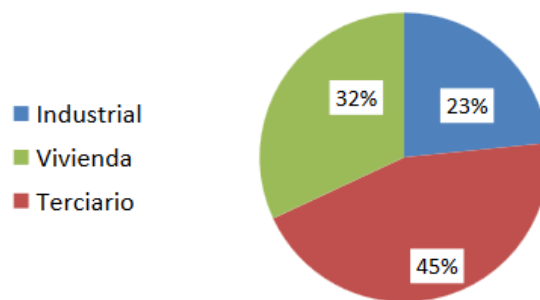


Figura 1-12 Uso final de los district heating en España. Porcentajes referidos a potencia instalada [27]

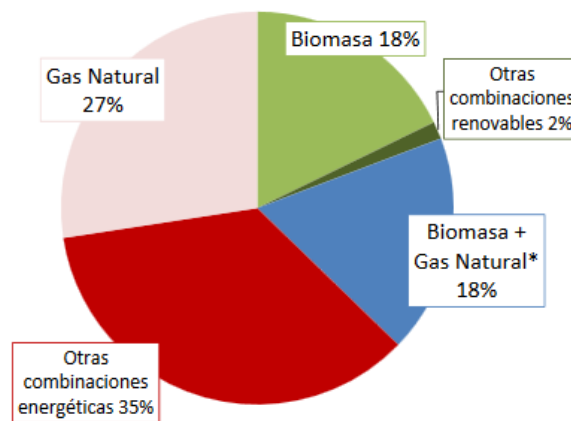


Figura 1-13 Fuentes energéticas empleadas en los district heating en España. Porcentajes referidos a potencia instalada [27]

Por otro lado, los DH han ido evolucionando a lo largo de los años, de forma que se pueden dividir en diferentes generaciones, en función de la tecnología que empleen. El objetivo a lo largo de los años siempre ha sido buscar una mayor seguridad y eficiencia (reducción de pérdidas térmicas) de los sistemas.

La forma más directa de conseguir reducir las pérdidas de que se producen es reduciendo el gradiente térmico existente entre la temperatura del agua de la red de distribución y la temperatura del terreno por donde discurren enterradas las tuberías. Por tanto, una de las claves será conseguir reducir al mínimo posible las temperaturas de impulsión y de retorno (temperaturas de trabajo) de la red. Las generaciones existentes de DH son las siguientes [22], [29]:

- Primera Generación, distribución de vapor.
- Segunda Generación (Alta Temperatura), distribución de agua caliente presurizada a temperaturas superiores a los 100°C.
- Tercera Generación (Media Temperatura), distribución de agua caliente presurizada a valores cercanos a los 100°C.
- Cuarta Generación (Baja Temperatura), distribución de agua en valores entre 30-70°C.
- Quinta y Futuras Generaciones (Ultra Baja Temperatura), redes que operan con agua a valores por debajo de 30°C, al menos en ciertas zonas de la red de impulsión.

Una de las grandes ventajas que se consiguen también con la reducción de las temperaturas de operación es que facilita la inclusión en el sistema de fuentes energéticas renovables distribuidas, ya que éstas últimas suelen operar a temperaturas moderadas, como puede ser el caso de las placas solares térmicas o los sistemas de aerotermia, consiguiendo también que puedan integrarse mejor en los smart energy systems [29].

### 1.1.6 Ventajas y Beneficios de los DH

Las redes de district heating se diseñan de forma que todas las partes interesadas que entran en juego a lo largo del ciclo de vida de la instalación salgan beneficiadas de ella, ya sea de forma directa o indirecta.

Como en la mayoría de proyectos, existirán localizaciones y entornos que harán óptima la ejecución del mismo, es decir, en función de los factores externos e internos que posea el proyecto, el mismo será más rentable y sostenible. Por tanto, existirán beneficios más genéricos, que podrán considerarse en casi cualquier situación y beneficios más específicos que podrán darse en mayor o menor medida, en función del entorno que posea el proyecto.

Además si estas redes emplean recursos locales en su funcionamiento como es el caso de la biomasa agrícola o forestal, se consigue favorecer la economía circular de la zona e influir positivamente en otra serie de actividades locales. De esta forma, los propios usuarios de la red podrían ser también proveedores de ella.

Los beneficios más importantes que pueden alcanzarse llevando a cabo la implantación de redes de calefacción urbana son:

#### Mejora de la Eficiencia Energética:

Al tratarse de sistemas centralizados, donde la totalidad de la generación térmica se da lugar en la central (o centrales), la eficiencia global del sistema aumenta si se compara con la solución típica existente de calderas o calentadores individuales en las viviendas. Este hecho, se da gracias a que la generación energética se puede realizar a rendimientos superiores, con equipos mejor preparados y con mejor mantenimiento que los individuales.

Esta característica de los sistemas centralizados puede suponer ahorros energéticos de un 14% al compararse con los sistemas individuales, valor que es bastante interesante a tener en cuenta [15].

Además existe otra gran peculiaridad de los sistemas centralizados que puede aumentar más aún la eficiencia energética al compararse con las situaciones anteriores. Al producirse la generación de todos los usuarios en una o unas zonas bien localizadas y determinadas, se pueden aprovechar fuentes de calor de tipo residual para satisfacer la demanda. De esta forma, se pueden combinar redes de distrito con instalaciones térmicas con cierto grado de calor residual, aprovechando la energía que se desperdicia en el proceso para satisfacer las demandas de calefacción y ACS de otras construcciones relativamente cercanas.

#### Mejora de la Calidad del Aire:

Teniendo en cuenta que se mejora la eficiencia energética al implantarse sistemas de district heating, es fácil comprobar que para un mismo nivel de demanda, los recursos que habrá que consumirse, como combustibles, serán menores. Por tanto, si se emplea un combustible determinado, con unas emisiones asociadas, el grado de contaminación del sistema se verá reducido al emplearse menor cantidad de combustible para llegar a satisfacer a la misma demanda.

De todas formas, este es el caso menos favorable que se puede alcanzar. La clave de estas instalaciones es que pueden emplear casi cualquier tipo de fuente energética, de forma que se puede modificar el combustible que se emplea hoy en día en las calderas individuales. Por tanto, si en la central se usa gas natural (menor cantidad de emisiones asociadas), fuentes renovables como la biomasa o calor residual, la mejora de la calidad del aire en la zona será aún más significativa todavía, pudiendo alcanzarse un nivel de emisiones neutras o nulas respecto al sistema anterior [15].

#### Cambio Climático:

Este aspecto se encuentra fuertemente relacionado con el apartado anterior. Ya que los niveles de emisiones contaminantes pueden verse reducidos drásticamente al implantar district heating, éstos pueden ser una herramienta con un gran potencial para paliar los efectos del calentamiento global y el cambio climático.

Además se pueden alcanzar otras mejoras medioambientales al utilizar estos sistemas [15]:

- Reducción de equipos de aire acondicionado y con ellos, de sus refrigerantes asociados. Los refrigerantes son productos químicos fuertemente tóxicos y cuando se producen fugas, conllevan a un importante impacto ambiental negativo.
- En zonas urbanas de alta densidad de población, las redes de calefacción urbanas pueden paliar el efecto de isla térmica, que se conlleva a un aumento de la temperatura en el interior de los núcleos urbanos debido, entre otras cosas, al gran número de maquinaria e instalaciones que existen en los edificios y emiten calor.

#### Beneficios para los Agentes Implicados:

Por otro lado, existen beneficios específicos para los diferentes agentes que pueden participar en un sistema district heating [30], [31].

##### - Beneficios para los Usuarios

Los usuarios pueden verse favorecidos debido a los costes que conllevan estos sistemas. Por un lado, el precio de la energía es muy competitivo, situándose en valores parecidos a los del gas natural. Además, al existir un menor número de equipos e instalaciones en las viviendas los costes de inversión y mantenimiento son menores.

La calidad en el suministro y la seguridad de abastecimiento aumenta debido a que la gestión unificada permite optimizar procesos. También se mejora el confort acústico y se reduce el nivel de vibraciones.

##### - Beneficios para las Empresas Explotadoras y Suministradoras del Sector

En algunos países como España, es un negocio emergente con una viabilidad a largo plazo favorable, por lo que se convierte en un nicho de mercado interesante que consigue además diversificar los servicios que ofrecen las empresas energéticas. Por otro lado, existe la posibilidad de que se produzcan intercambios energéticos entre instalaciones cercanas, de forma que la energía térmica suponga un producto de compraventa.

Estas redes suponen una gran oportunidad para las empresas locales de suministrar los equipos y productos necesarios para la ejecución del district heating, consiguiendo así promover el mercado económico del país.

##### - Beneficios para los Promotores Inmobiliarios y Urbanísticos

Los beneficios para la estética, calidad y eficiencia de los edificios son claros a la hora de que éstos se encuentren conectados a una red de calefacción. Por un lado, el número de instalaciones interiores en los edificios se ve reducido, consiguiendo así una menor complejidad, mayor fiabilidad y un aumento del espacio útil.

El edificio posee una calificación energética superior, al ser más eficiente en el aspecto de energía térmica, lo que conlleva a que el mismo tenga un valor añadido mayor. Como se eliminan instalaciones exteriores de los

edificios como aires acondicionados, torres de refrigeración o chimeneas, la estética de los mismos puede llegar a mejorar considerablemente.

- Beneficios para la Administración Pública

Los beneficios para el espacio urbano son numerosos. De modo genérico se puede decir que con el uso de redes de calefacción se aumenta la calidad y el valor del espacio urbano, consiguiendo así una mejora de la marca ciudad. También se consigue mejorar la calidad del aire urbano, por lo que puede ser una seña de identidad para el municipio.

Se favorece el uso de fuentes energéticas renovables o calor residual de la zona, mejorando por tanto la eficiencia global del conjunto de instalaciones. Esto además puede suponer una reducción de la dependencia energética.

Se favorece la economía local y se crean nuevos puestos de trabajo directos, debido al diseño, ejecución y mantenimiento de la propia red, o indirectos, en empresas suministradoras de materiales por ejemplo.

### 1.3. Bloque III: Barreras e Inconvenientes de los DH

Existen numerosas barreras que impiden la proliferación de los district heating para que se expanda su implantación, sobre todo en aquellas zonas donde esta tecnología se desconoce en gran medida. Las barreras pueden tener índoles muy distintas, pero las que son de tipo legislativo o de marco regulatorio son las que podrían proporcionar un mayor apoyo al desarrollo de los mismos.

Para el desarrollo de las barreras existentes, este trabajo se ha basado en lo expuesto en [30], [31], y principalmente en el artículo científico [32].

- Barreras Legales

La barrera principal es la competencia distintiva y el modelo de negocio. Esto es debido a que el marco regulatorio no premia a las instalaciones que hagan de la eficiencia energética un aspecto distintivo de ellas. Por ese motivo, el marco regulatorio debe modificarse y no beneficiar a las empresas u organizaciones privilegiadas que en gran medida carecen de un deseo de innovación y cambio.

Por tanto, los reglamentos y leyes deben adaptarse para favorecer de forma certera la mejora de la eficiencia energética y el uso de fuentes energéticas renovables (no el caso particular de los district heating únicamente), tal como mandan las directivas europeas.

Por poner un ejemplo, se tiene que en el artículo 28 de la directiva europea 2010/31/CE se dice: “los Estados miembros deben facultar y animar a los arquitectos y responsables de la planificación urbana a que consideren de forma adecuada la combinación óptima de mejoras en el ámbito de la eficiencia energética, la utilización de energía procedente de fuentes renovables y el uso de la calefacción y refrigeración urbanas a la hora de proyectar, diseñar, construir y renovar zonas industriales o residenciales”

También existe una falta de armonización de las normas relacionadas con los district heating por los Estados Miembros de EU-28. Los objetivos marcados son poco precisos en la mayoría de casos, por lo que cada Estado lo interpreta de la forma que prefiere. Por tanto hay que seguir trabajando a nivel europeo y mundial para que las acciones y medidas que se realicen se encuentren alineadas entre países para que se alcancen los objetivos de la forma más rápida y eficiente posible.

Además, en general, las autoridades locales no consideran la energía como una prioridad a tratar en sus programas. Existe también un peligro electoral potencial que resultaría de las grandes deudas que podrían conllevar estos proyectos energéticos a gran escala.

- Barreras Económicas

En el ámbito de barreras económicas hay que resaltar que los periodos de amortización de este tipo de sistemas son más largos que los de otros proyectos energéticos. Por tanto, existe un riesgo de implementación más elevado que los que poseen otras tecnologías convencionales.

Cuando se habla de capital privado, en muchas ocasiones es necesario que estos proyectos se apoyen en subvenciones o que entren en juego entidades públicas para poder superar la fuerte inversión inicial.

Otro problema que puede ser importante es que es bastante complicado predecir los ingresos que se van a obtener de realizar la explotación de la instalación, sobre todo en un periodo de medio plazo. Esto se debe a que existe una fuerte incertidumbre del número de futuros clientes que pueden querer conectarse a la red, además de la correcta estimación de la variación anual de la demanda [33]–[35].

Otro hecho importante es que existe una gran falta de integración de estos sistemas en el mercado energético, lo que provoca que la competencia entre distintos tipos de tecnologías no sea justa.

#### - Barreras Técnicas

Las redes de calefacción urbanas son proyectos de una cierta envergadura que conllevan obras importantes por suelos urbanos. Esto puede suponer la oposición de algunos agentes interesados del proyecto.

Entre los trabajos a realizar, los que conllevan un mayor impacto son por un lado la necesidad de encontrar una ubicación adecuada y construir en ella la central de generación de energía térmica, que afecte lo mínimo posible a los habitantes y al entramado urbanístico de la zona [36], y por otro lado, es necesario también llevar a cabo grandes obras civiles urbanas, sobre todo para realizar la red de tuberías subterránea, que conllevará el levantamiento de calzadas y acerados. Será clave también conseguir que los district heating se integren de forma urbanística y con los sistemas energéticos existentes [37], [38], ya que es una de las claves de los Smart Energy Systems.

#### - Barreras Culturales y Sociales

Estas barreras existen principalmente en aquellos lugares en los que no es habitual el uso de redes de calefacción, como puede ser el caso de España. Debido al desconocimiento que existe en la población sobre esta tecnología, se produce un estado de desconfianza hacia la misma. Esto se debe a que los usuarios no conocen el modo de funcionamiento ni gestión del sistema y tampoco conocen a personas de su entorno que lo usen.

Por eso muchas veces estos proyectos son rechazados por los propios habitantes de la zona y se requiere una primera fase de educación y concienciación a los usuarios y tener en cuenta en los diseños de los proyectos los impactos sociales que se pueden producir [39]–[41]. Además, las personas suelen oponerse a cambiar sus equipos individuales por sistemas centralizados, ya que prefieren tener cierta propiedad individual y depender lo mínimo posible de agentes externos.

El estudio de estas barreras de distinta índole que impiden el desarrollo de los sistemas district heating, tiene una importancia cada vez mayor para la comunidad científica. Se están empezando a desarrollar artículos y proyectos que identifican estas barreras y proponen soluciones para eliminarlas. Se puede comprobar por tanto, que uno de los inconvenientes principales a día de hoy para que las redes de calefacción sigan expandiéndose es la existencia de una serie de factores que bloquean este hecho. Estos factores, como ya se han comentado pueden ser de distinta índole.

Un ejemplo claro es el proyecto europeo INTENSSS-PA (systematic approach for inspiring training energy-spatial socioeconomic sustainability to public authorities) [42]. En él se pretende desarrollar e integrar los sistemas energéticos para conseguir integrarlos de forma espacial, física y socioeconómica, de forma que toda esa información obtenida se pueda ofrecer a las autoridades públicas para que puedan tomar aquellas medidas necesarias. Todos estos estudios lo realizan en siete laboratorios reales, que son redes de calefacción ya implantadas. El proceso que siguen es intentar implantar en estos laboratorios los diseños de planificación sostenible que han mejorado o ideados, para comprobar su verdadera utilidad y aprendiendo de los resultados que se vayan obteniendo.

El proyecto posee una tercera fase que consiste en divulgar y compartir todos estos conceptos útiles para remover las posibles barreras que se tengan de forma que tanto la comunidad científica como las autoridades públicas puedan aprender y tomar aquellas medidas necesarias para conseguir el desarrollo de las energías sostenibles. Cabe resaltar que en este proyecto no se estudian únicamente los district heating, pero sí que son uno de los sistemas que más interés se tienen dentro del mismo; por ejemplo, uno de los centros laboratorios que se utilizan de estudio es una red de calefacción de biomasa ubicada en Castilla y León.

Otro ejemplo claro se encuentra en el artículo [43]. El objetivo del mismo es el de identificar aquellos retos a los que se enfrenta el poder público en Rumanía dentro del ámbito de la eficiencia energética de las redes de calefacción urbanas. En el mismo se muestran las barreras existentes actualmente que no permiten la correcta promoción y desarrollo de los district heating. Las barreras que se estudian en este trabajo son principalmente de tipo regulatorias, ya que como se ha comentado, son las más críticas y las que pueden bloquear o favorecer más la implantación de cualquier tipo de tecnología.

Uno de los objetivos de este trabajo, es el poder identificar las posibles barreras que se tengan, aplicando la metodología propuesta, y determinar posibles medidas correctoras que permitan eliminarlas.

## 1.4. Bloque IV: Biomasa y District Heating

### 1.1.7 Biomasa

La biomasa, por definición, es aquella materia orgánica que es utilizada como fuente energética. Se puede comprobar por tanto que el concepto abarca muchos tipos de recursos diferentes, lo que conlleva a que el estudio de cada uno de ellos puede ser muy distinto al resto.

Este trabajo se focaliza en dos tipos de biomasa principalmente, la de origen forestal y la agrícola. En ambos casos, estos combustibles se utilizarán como fuente energética de los sistemas district heating.

La biomasa de origen forestal se produce en mayores cantidades que la agrícola por lo que será el combustible principal, mientras que la biomasa agrícola local de la zona se empleará como combustible complementario o de apoyo principalmente.

La biomasa de origen forestal se produce a partir de la explotación de los montes. El gestor del monte es el agente encargado de gestionar y dirigir de forma óptima y sostenible la explotación de los recursos forestales, indicando fechas, cantidades y procedimientos para llevar cabo las tareas que sean necesarias. Después de la recolección del recurso es necesario astillar o descomponer la biomasa para convertir la materia prima en un producto comercial óptimo para su combustión.

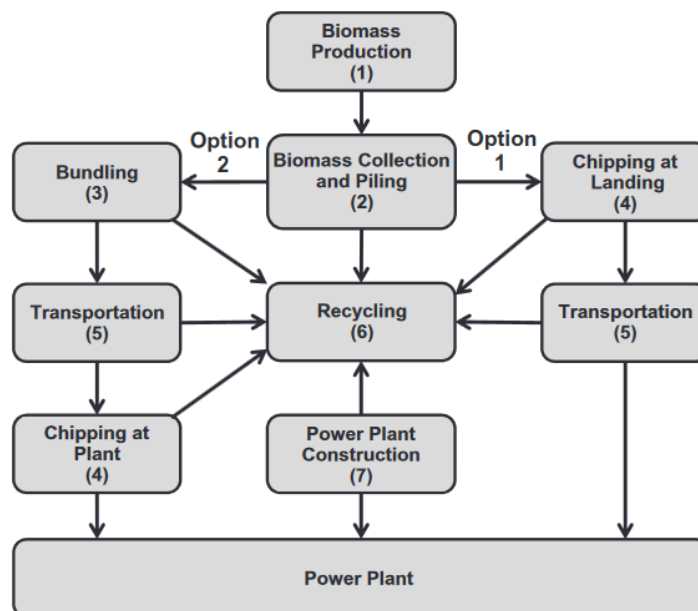


Figura 1-14 Esquema de ciclo de vida de la biomasa forestal [44]

El proceso de producción de biomasa tanto agrícola como forestal depende de la tecnología que se esté usando en cada caso, que puede ser muy variada. De forma general se pueden exponer las siguientes fases [45]:

- Recolección del recurso forestal o agrícola
- Transporte de la materia prima hasta plantas de tratamiento
- Triturado, astillado o molienda de la materia prima



- Secado natural o forzado para eliminar humedad y mejorar propiedades de combustión
- Compactación, peletización, granulado, etc; en función de la tipología final que posea la biomasa forestal o agrícola

El potencial de recurso de biomasa forestal varía mucho entre distintas localizaciones, principalmente en función de la zona climática que se tenga. En la Figura 1-15 se puede ver gráficamente la disponibilidad del recurso existente en Europa.

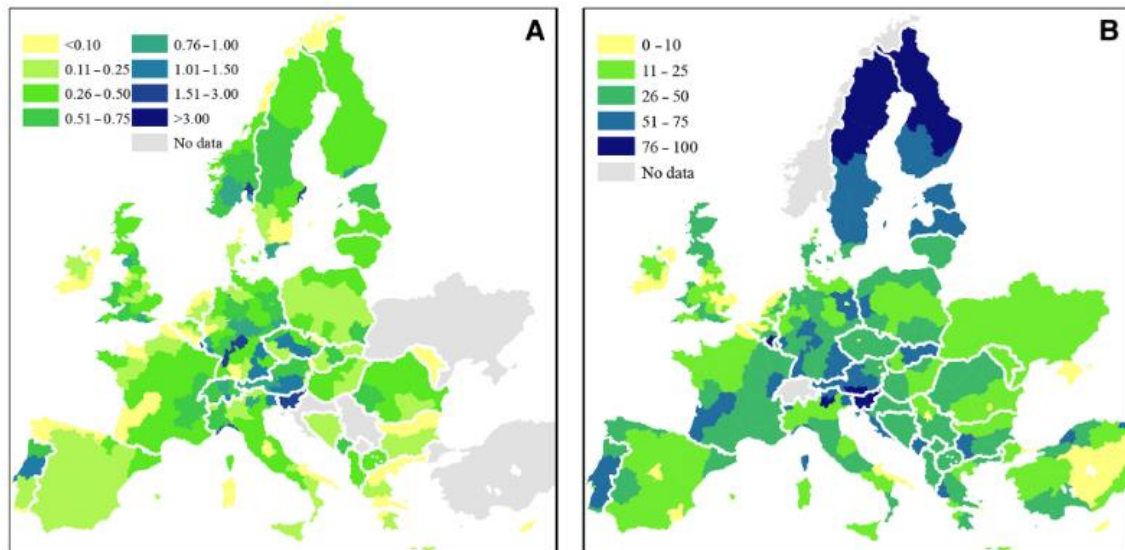


Figura 1-15 Disponibilidad estimada de biomasa forestal, expresado como potencial no utilizado por unidad de tierra (a;  $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ) y como proporción del potencial de biomasa total en la región (b;  $\% \cdot año^{-1}$ ) [46]

Gran parte de los costes asociados a la biomasa, así como el grado de emisiones contaminantes emitidas en su producción, se deben a las operaciones de logística y transporte. Por tanto, un recurso forestal o agrícola podrá ser interesante monetariamente en función de cual sea su localización.

La biomasa agrícola es un subproducto que se genera en muchas labores agrícolas. Es interesante su utilización debido a que en una gran parte de los casos, es un producto no deseado que se desperdicia al no darle un uso determinado. La cantidad de biomasa agrícola que se produce en un municipio determinado suele ser bastante inferior que la del recurso forestal, pero puede ser un buen complemento para favorecer la economía circular y local de la zona, intentado aprovechar al máximo los recursos locales antes de acudir a otros municipios cercanos para satisfacer los requerimientos.

La biomasa, en principio, se puede considerar que es un combustible con emisiones neutras, es decir, las emisiones de  $CO_2$  que emite a la atmósfera durante su combustión son inferiores a la cantidad que absorbe la planta durante su ciclo de vida. Aunque es cierto que esta situación no se cumple siempre. Hay veces en que los procesos de recolección, tratamiento y transporte (principalmente) hacen que las emisiones de  $CO_2$  emitidas por la biomasa durante todo su ciclo de vida superen a la cantidad absorbida por la misma, haciendo así que la biomasa no se pueda considerar un recurso renovable ni con nivel de emisiones neutras. Por este mismo motivo, la distancia que exista entre el punto de utilización y el punto de recolección de la biomasa es un aspecto clave.

### 1.1.8 Definición del Concepto BioDH

El concepto de Biomass District Heating (BioDH) se refiere a aquellos sistemas de district heating que operan usando biomasa, ya sea de origen forestal o agrícola, como combustible. Este tipo de instalaciones pueden ser muy interesantes de implantar en aquellas localizaciones en las que los recursos de biomasa se encuentren a una distancia relativamente cercana, como pueden ser las zonas rurales [13], [22].

Estas redes, por tanto, además de aumentar la eficiencia energética de los procesos de calefacción y producción de ACS de los edificios, van a utilizar una fuente de energía renovable y local, por lo que garantiza la sostenibilidad de los recursos térmicos de su zona de influencia y su economía local [14].

Poseen unas peculiaridades determinadas que difieren a estos sistemas de las redes de calefacción de otro tipo, principalmente debido a dos motivos. Uno de ellos es que su localización suele ser en zonas rurales donde existe un alto nivel de pobreza energética, casas vacías o segundas residencias.

El segundo se debe a que al usar como único combustible la biomasa, obtendrá todos los beneficios que ello conlleva, pero también sus inconvenientes. Los inconvenientes principales es que el mercado de biomasa no se encuentra tan desarrollado y regulado como el de otras fuentes energéticas, al menos en España, lo que supone una seguridad y estabilidad en el suministro menor, al entrar en juego numerosos agentes interesados. También hay que tener en cuenta que el precio de la biomasa como combustible posee fluctuaciones importantes a lo largo de los años [47], [48], ya que se ve influenciado por numerosos aspectos que aparecen dentro de su ciclo de vida, siendo los costes de transportes el parámetro más crítico [49], [50].

Con todo esto, no se pretende demostrar que estos problemas son insalvables, sino todo lo contrario. Lo que se pretende remarcar es que habrá que prestar especial interés en algunos aspectos que en otro tipo de proyectos a lo mejor no son tan importantes para salvar los obstáculos y posibles barreras; que no se puede generalizar con las redes de calefacción. Por ejemplo, un proyecto de district heating donde el combustible es gas natural, es un proyecto bastante distinto al que hay que realizar y estudiar en un BioDH.



## 2 OBJETIVOS Y ALCANCE

---

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Universidad de Sevilla*

*Sevilla, 2019*

El objetivo principal de este trabajo es formalizar un modelo para el desarrollo de los Biomass Universal District Heating (BioUnivDH) que permita realizar evaluaciones cualitativas y cuantitativas de la sostenibilidad en las dimensiones medioambiental, social y económica. Con ello se podrá demostrar el gran potencial y sostenibilidad de estos sistemas de generación y distribución de energía térmica y comparar y tomar decisiones entre invertir en unos u otros. Además gracias al modelo se podrán identificar las posibles barreras que impiden el desarrollo de esta tecnología y poder tomar las medidas necesarias para removerlas.

Existen otros objetivos secundarios como puede ser la divulgación de las utilidades que presentan las redes de calefacción basadas en biomasa forestal o agrícola. También se pretende aplicar el concepto de sostenibilidad como mejor forma de evaluar un sistema (además de ser exigible), siempre que se considere de forma conjunta todas sus vertientes.

Por tanto el alcance que posee el trabajo se compondrá de lo siguiente:

- Definir el concepto de BioUnivDH.
- Definir los agentes intervinientes en los BioUnivDH.
- Formalización y modelado del sistema, dónde se muestren los procedimientos llevado a cabo en el mismo.
- Implementación del modelo explicado de forma teórica en la metodología con ayuda de herramientas informáticas.
- Aplicación del modelo de evaluación de la sostenibilidad de BioUnivDH a cuatro casos de estudios reales, para tener una comprensión más intensiva del mismo y demostrar su gran utilidad.
- Discusión de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, exponiendo cual es el potencial y las limitaciones que posee el mismo.
- Comentar diferentes aplicaciones del modelo así como sus mejoras futuras, en las que se demuestre su flexibilidad y versatilidad.

Para la consecución de todas estas actividades será necesaria la elaboración de numerosas tareas secundarias, que también se irán desarrollando y pueden llegar a ser igualmente útiles para la comprensión de los sistemas de redes de calefacción de biomasa, como puede ser el caso de la definición de todos los factores de sostenibilidad.





# 3 METODOLOGÍA MODELO BIOUNIVDH

---

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Universidad de Sevilla*

*Sevilla, 2019*

La metodología que se presenta pretende definir y explicar todas las bases en las que se sustenta este trabajo. La idea es exponer cómo se ha ido desarrollando el estudio, con qué procedimientos y bajo qué condiciones. Se puede decir que es la parte teórica de la investigación llevada a cabo, la cual se puede aplicar de forma práctica posteriormente.

## 3.1. INTRODUCCIÓN Y ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA

Se procede a presentar la metodología propuesta y seguida para desarrollar este trabajo, la cual se aplicará posteriormente a cuatro casos de estudio para poder demostrar su potencial. Se compone de cuatro partes diferenciadas, que se presentarán por bloques:

- Estudios Previos: se exponen las diferentes tareas previas necesarias para poder recopilar todos los datos que afectan al proyecto y que posteriormente se utilizarán para rellenar un cuestionario relacionado con el modelo propuesto.
- Modelo Biomass Universal District Heating (Primera Parte): exposición del modelo que se ha desarrollado en este trabajo para poder realizar un análisis correcto de la sostenibilidad de los proyectos de redes de calefacción con biomasa. El objetivo será partir del conjunto de un proyecto de una red de calefacción de biomasa y obtener los diferentes factores de sostenibilidad que relacionan a cada uno de los agentes.
- Cuestionario de Valoración: se desarrolla un cuestionario con el objetivo de que sea el único elemento práctico que deba usarse una vez que el modelo de la metodología se encuentre implantado, es decir, actúa como interfaz entre los proyectistas o promotores y el modelo propuesto. El objetivo del mismo será el de preguntar por el nivel de los diferentes factores de sostenibilidad y adaptar las respuestas a valores numéricos, válidos para usarlos como entradas en el marco matemático.
- Modelo Biomass Universal District Heating (Segunda Parte): marco matemático necesario para poder realizar las operaciones que requiere el modelo UnivBioDH. Se definirán una serie de parámetros inicialmente, pero posteriormente actuará como una calculadora y únicamente habrá que introducirle las entradas (factores de sostenibilidad evaluados numéricamente) para poder obtener los resultados.

- Evaluación Biomass Universal District Heating: Tras haber obtenidos los resultados e indicadores, se podrá pasar a evaluar y analizar la sostenibilidad de los sistemas, así como poder realizar comparaciones entre ellos.

A modo resumen se presenta la Figura 3-1, con el esquema de la metodología propuesta en este trabajo. Posteriormente se procederá a desarrollar cada uno de los cuatros bloques de los que se compone la metodología.

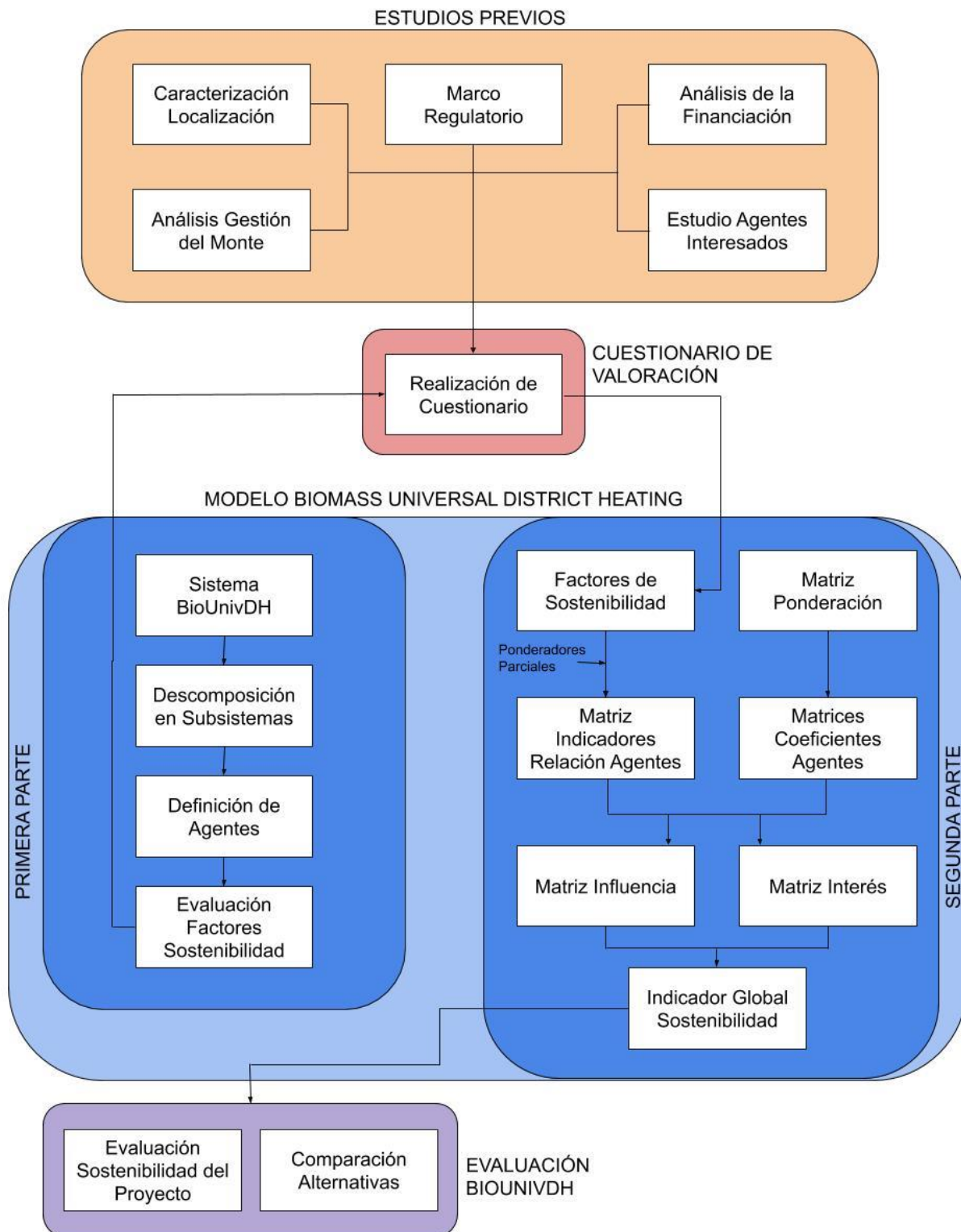


Figura 3-1 Esquema de la metodología del modelo BioUnivDH



## 3.2. ESTUDIOS PREVIOS

Como en cualquier tipo de proyecto, es necesario realiza un estudio de viabilidad que muestre el interés real de llevar a cabo el desarrollo del mismo. Dentro de estos estudios existen numerosas tareas que realizar, siempre con el objetivo de conocer el entorno en el que se encuentra el proyecto en todos sus aspectos, medioambiental, social, regulatorio, mercantil, económico, etc.

Englobando las actividades en grupos se puede tener:

- Estudios de localización e implantación
- Marco regulatorio del proyecto y normativa vigente
- Estado y situación de la gestión del monte
- Identificación de agentes y evaluación de sus intereses
- Búsqueda de financiación para el proyecto

Estas actividades permitirán conocer el punto de partida en el que se encuentra el proyecto y bajo qué condiciones iniciales debe realizarse. Que los datos que se dispongan sean correctos y cercanos a la realidad será un aspecto clave para que la posterior evaluación que se realice sea eficaz y arroje resultados realmente interesantes.

## 3.3. MODELO BIOMASS UNIVERSAL DISTRICT HEATING (PRIMERA PARTE)

### 3.1.1 Introducción BioUnivDH

Para exponer lo que supone y en qué se basa el modelo, es necesario explicar con profundidad en qué consiste el BioUnivDH.

Como ya se ha comentado, un biomass district heating (BioDH) es un concepto que se usa para identificar a las redes de calefacción que usan biomasa como combustible en su totalidad. El BioUnivDH da un paso más y proporciona un nuevo enfoque holístico que permite identificar y optimizar la relación que poseen los diferentes agentes que entran en juego en un proyecto de BioDH. Su finalidad es la de optimizar el rendimiento global del sistema a partir de potenciar las relaciones entre los diferentes agentes [51].

Los sistemas energéticos futuros, que buscan basarse en fuentes renovables, más eficientes y con una mayor integración con otras instalaciones, incrementan la complejidad y número de los agentes y subsistemas implicados en los mismos [52], por lo que la consideración de cada uno de ellos y evaluación de sus expectativas es un proceso clave [53].

Tanto los BioDH como los BioUnivDH son sistemas de generación, distribución y compraventa de energía térmica que cumplen con lo siguiente [51]:

- Cualquier usuario final podrá conectarse a la red, siempre que asuma los pagos de conexión y preparación.
- Los inversores y los promotores son los encargados de asumir el riesgo asociado a la inversión, consiguiendo así ser los propietarios de las instalaciones y captadores de los beneficios que genere.
- La red de calefacción usará biomasa local como combustible, favoreciendo así la economía local de la zona y garantizando siempre la sostenibilidad de las actividades y procesos que se ejecuten.
- Las administraciones locales deberán apoyar y potenciar el desarrollo de estos sistemas, llevando a cabo regulaciones, licencias o actuando como usuario de la red.
- El acceso de los usuarios finales de la red será en condiciones de libre mercado y la calidad del suministro debe ser garantizada por los contratos que realicen los promotores.
- La realización de regulaciones, contratos o normas locales podrán dar un impulso a la garantía de sostenibilidad del sistema en sus tres ámbitos (social, medioambiental y económico) y favorecer a su vez la economía circular de la zona.

Un sistema BioDH, se puede descomponer en subsistemas o en agentes implicados, de forma que si se optimizan los subsistemas implicados o las relaciones entre los agentes, el sistema en conjunto se verá potenciado y optimizado. Es decir, se está intentando mejorar el conjunto estudiando las relaciones particulares y concretas existentes en él.

Lo que se pretende es visualizar algo tanto complejo como la sostenibilidad medioambiental, social y económica de un proyecto a través de actos o documentos específicos que relacionan a los agentes implicados en el proyecto. La idea es por tanto, descomponer el conjunto para poder analizar las conexiones existentes en él, las cuáles le proporciona la estructura y fiabilidad necesarias.

Dentro de la metodología del presente trabajo, se especificará como se han realizado las descomposiciones en subsistemas y en agentes. También se tratará como se han definido las relaciones entre los agentes, que son los aspectos que se deben estudiar y potenciar, ya que se tratan de aspectos específicos y concretos.

Para este análisis, primero se ha descompuesto el BioUnivDH en subsistemas, de forma que a partir de ellos, ha sido más fácil identificar a todos los agentes implicados. Con los agentes implicados y teniendo en cuenta cada uno de los subsistemas, se han ido obteniendo los distintos factores de sostenibilidad, que son esas relaciones que se producen entre los distintos agentes dentro del BioUnivDH.

El objetivo final de este modelo será el de poder evaluar la sostenibilidad de un proyecto de calefacción urbana teniendo en cuenta sus tres ramas: medioambiental, económica y social. De esta forma, si tras la evaluación se considera que el proyecto suficientemente sostenible, se está garantizando que se cumplen una serie de condiciones para que el proyecto sea estable no solo desde el punto de vista económico, sino con una visión más amplia y completa.

Además, gracias al modelo, se podrán potenciar aquellos proyectos que no sean lo suficientemente sostenibles, ya que se podrán identificar dónde se producen los mayores déficits y realizar actuaciones sobre ellos.

### 3.1.2 Subsistemas del BioUnivDH

Se procede a presentar los subsistemas de los que se compone el BioUnivDH a la vez que se presentan a los agentes que entran en juego.

Dentro de cada uno de los subsistemas y entre ellos, se producen una serie de relaciones que son ejecutadas por los diferentes agentes. Esto es lo que permite identificar a los agentes implicados a partir de los subsistemas. Hay que tener claro que los subsistemas no se descomponen en agentes (ya que puede haber agentes que participen en varios), lo que permiten es identificarlos. Ver el conjunto como composición de agentes o como subsistemas son dos formas distintas de realizar el análisis.

Para poder realizar esta evaluación completa ha sido indispensable los conocimientos expuestos en el trabajo [14], [51].

#### - Subsistema Recursos Combustibles

Este subsistema engloba a todas aquellas tareas que se dan lugar a lo largo del ciclo de vida de los recursos forestales y agrícolas, con la finalidad de emplearlos como biomasa. Estos serán los combustibles que usarán durante su funcionamiento las centrales de los BioDH.

Dentro de las actividades a realizar relacionadas con la biomasa forestal se encontrarán la gestión sostenible del monte y la recolección, tratamiento y transporte de biomasa. Por un lado, será necesaria la correcta planificación de la explotación forestal y su restauración para garantizar la sostenibilidad del ecosistema. También podrán existir empresas en la zona especializadas en el tratamiento y distribución de biomasa, lo que supondrá que existe un mercado local enfocado a estos fines.

La actividad forestal de las zonas rurales depende fuertemente de la localización que se tenga en cada caso, por lo que será un aspecto clave a la hora de determinar la disponibilidad de recurso que existe en la zona, sus costes de recolección, tratamiento y transporte, así como el precio de venta de la misma.

También se llevan a cabo las actividades relacionadas con la producción, tratamiento, logística y compraventa de biomasa agrícola. Este recurso se genera a partir de la actividad normal de instalaciones y complejos agrícolas, que en determinadas situaciones poseen como subproducto de sus procesos biomasa que se puede utilizar como combustible.

El tipo, calidad, cantidad y coste de la biomasa agrícola variará en cada caso, en función de qué tipo de actividad se desarrolle en la zona de implantación del district heating.

El sistema BioDH provocará un impulso de la actividad forestal y agrícola de la zona, favoreciendo la creación de puestos de trabajo y promoviendo la economía circular, al solicitar de forma estable una demanda determinada tanto de recurso agrícola como forestal.

Los agentes involucrados en este subsistema serán el gestor del monte, los propietarios de los recursos, las empresas suministradoras de biomasa y las cooperativas agrícolas.

#### - Subsistema Regulatorio

Es el encargado de proporcionar la estabilidad legal necesaria al proyecto en su conjunto, es decir, al sistema global. En el caso de muchos países, no existe ninguna normativa específica sobre District Heating, de forma que se tiene que recurrir a las autoridades locales genéricas en el ámbito de medioambiente y urbanística.

Si nos centramos en el caso de la biomasa forestal el subsistema regulatorio debería tener una relación suficiente con el gestor del monte, de forma que se pueda garantizar la correcta explotación y mantenimiento del mismo, que consiga proporcionar seguridad en el suministro a la red de calefacción y siempre teniendo en cuenta la sostenibilidad en todos sus ámbitos.

Por tanto, en este subsistema, encargado de establecer el marco legal y regulatorio que posee el proyecto, se encuentran los siguientes agentes: gestor del monte, gestor medioambiental y el Ayuntamiento del municipio en cuestión.

#### - Subsistema Comercial

Dentro de este conjunto es dónde se desarrollan las relaciones entre los usuarios de la red y los promotores o inversores de la misma. Por tanto, los contratos de suministro y las tareas de mantenimiento serán unas de las actividades principales dentro del subsistema.

Estos contratos no tienen únicamente aspectos monetarios, sino que incluyen también otra serie de especificaciones, como los acuerdos de suministro, que pretenden garantizar la calidad y seguridad en el suministro, con el objetivo de asegurar que los promotores también cumplen con una serie de especificaciones.

Los agentes que participan en este sistema son los usuarios de la red, el promotor de la misma y los inversores del proyecto.

#### - Subsistema Técnico-Económico

En este subsistema se incluyen todas las actividades relacionadas con el proceso de diseño, viabilidad económica y medioambiental, ingeniería de detalle y tareas de financiación. Por tanto dentro de este grupo se desarrollan una gran cantidad de documentos técnicos y económicos.

También habrá que incluir en este grupo a todas las relaciones existentes entre el promotor del proyecto y los inversores del mismo, lo que conllevará a la elaboración de una serie importante de documentos y contratos financieros y económicos.

Entonces, los agentes que se encuentran involucrados en este conjunto serán: el promotor del BioDH, los inversores y el ayuntamiento del municipio.

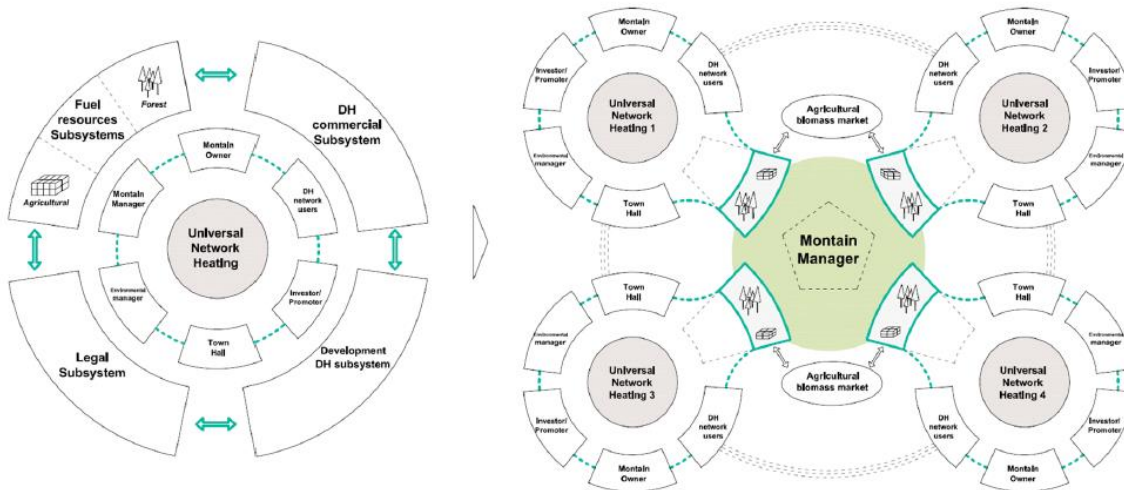


Figura 3-2 (Izquierda) Subsistemas y agentes del modelo BioUnivDH; (Derecha) Relación entre distintos BioUnivDH a través de los recursos forestales y agrícolas disponibles [14]

### 3.1.3 Agentes Implicados BioUnivDH

Se procede a ir exponiendo y comentar las actividades que realizan los diferentes agentes que participan en el modelo BioUnivDH.

#### 1. Gestor del Monte

Es el encargado de gestionar la planificación y la explotación del recurso forestal. En España, estos procesos se basan en la Ley de Montes [54]. Son entidades regionales con la misión de implantar procedimientos de producción sostenibles, tanto de forma medioambiental como social, de forma que se tendrán que redistribuir los recursos de las áreas con excesos a las que se encuentren en déficit. Este ente realiza la gestión del monte tanto si la propiedad del mismo es privada o pública.

#### 2. Titular del Recurso

Este agente es el beneficiario de la explotación del recurso del cual es poseedor, pero no es el encargado de su gestión ni de la programación de su explotación; esa tarea será competencia del Gestor del Monte. Una de las opciones existentes es que el propietario del recurso forestal o agrícola sea público, de forma que se tendría el potencial de eliminar los riesgos de operación, siempre que el propietario posea un volumen de recurso suficiente, al asegurar un precio y una distribución estables.

Por otro lado, los titulares del recurso pueden ser entes privados, lo que conducirá un estudio detallado de los intereses particulares de cada uno de éstos. En algunos casos, los propios habitantes de la zona a implantar la red de BioDH son los titulares del recurso forestal o agrícola. Una de las grandes ventajas que aparece es que se fomenta claramente la economía circular de la zona, ya que se realizan tareas de mantenimiento y explotación de los recursos a la vez que estos mismos se emplean para satisfacer las demandas térmicas de los edificios gracias a la implantación del sistema BioDH.

#### 3. Empresas Suministradoras de Biomásas

En algunas localizaciones pueden existir empresas especializadas en recolectar, tratar, acondicionar y distribuir biomasa de tipo forestal. Esto supone que en la zona existirá un mercado local de biomasa que supondrá una mayor actividad forestal, que puede resultar interesante para el district heating.

Estas empresas pueden conseguir que exista un mercado más competitivo en la zona, a la vez que entran más agentes e interesados en juego en las actividades forestales. Esta situación podrá en algunos casos beneficiar a la red pero en otras puede llegar a ser perjudicial, por lo que será necesario estudiar cada caso.

A veces, estas empresas pueden llegar a acuerdos con los promotores de las redes de calefacción, de forma que se firmen contratos de suministro que proporcionen una mayor seguridad y calidad, a la vez que se estabiliza el precio de la biomasa que es necesaria para el funcionamiento de las centrales de generación térmica.

#### 4. Gestor Medioambiental

Es el encargado de controlar, supervisar y validar las autorizaciones correspondientes que debe poseer la central de generación para cumplir con todos los requisitos legales medioambientales. Los principales parámetros que controlará este agente son los niveles de emisiones y ruido producidos en la central térmica del sistema BioDH.

Por otro lado, juega un papel muy importante también sobre la gestión de los residuos forestales y agrícolas. Entre otras cosas es el encargado de elaborar los planes de ordenación forestales de los montes para que la explotación de los mismos sea de la forma más eficiente y sostenible con el ecosistema.

Como las tareas de este agente son tan variadas, tendrá relación con numerosos agentes y dentro de varios subsistemas.

#### 5. Ayuntamiento

Este agente posee una gran capacidad de influenciar sobre la red de BioDH. Entre sus facultades se encuentra la de ser el encargado de tramitar y aceptar las licencias, tanto de tipo urbanística como las basadas en regulaciones locales. Ponen la capacidad de reducir, eliminar o bonificar algunas tasas para favorecer la implantación de las instalaciones. A veces es el propietario del suelo donde se va a instalar la central y por tanto, puede ser clave en determinar el nivel de inversión y riesgo del proyecto.

Otro aspecto a destacar, es que puede proporcionar un gran impulso y estabilidad al sistema si decide establecer la conexión de algunos de los edificios públicos de la zona a la red de BioDH, de forma que se garantice una demanda mínima y que el resto de los usuarios vean como una oportunidad viable su conexión al mismo. Por otro lado, el ayuntamiento también puede ser en determinadas ocasiones el propietario del recurso forestal o agrícola.

Estos proyectos también pueden ser utilizados como herramientas para el establecimiento de políticas energéticas sociales, por lo que pueden despertar un gran interés en estos agentes. Con todo esto se muestra que si el ayuntamiento muestra un gran interés por llevar a cabo la instalación del sistema BioDH, éste tendrá muchas opciones de llegar a ser sostenible.

#### 6. Usuarios

Uno de los grandes retos para poder llevar a cabo un gran desarrollo de los sistemas BioDH es la aceptación de los mismos por parte de estos agentes. Los usuarios pueden ser residentes permanentes, que buscan una reducción en sus costes energéticos, residentes de segunda vivienda, que buscan calidad y garantía en el suministro, edificios singulares, que pueden llegar a ser un gran porcentaje de la demanda total, al tratarse de construcciones como hoteles, colegios, hospitales, centros deportivos o centros administrativos.

En general, todos los usuarios buscan, además de que la calidad y seguridad de nuevo tipo de suministro térmico sea mejor que la actual, reducir sus costes actuales destinados a cubrir sus requerimientos de calefacción y generación de ACS. Uno de los aspectos que puede favorecer la conexión de estos usuarios a la red es el ofrecimiento a los mismos de una factura con términos fijos, de forma que la oscilación en distintos periodos sea mínima. Para llegar a conseguir este tipo de facturación, será necesario que el suministro de recurso forestal y agrícola que necesita el sistema BioDH también sea bastante seguro y estable de forma monetaria.

#### 7. Promotor o Inversor

Los promotores son los que asumen los riesgos de la inversión y del proyecto, por tanto son los que están sometidos a soportar las variaciones en el mercado, en el ámbito legal, disponibilidad del recurso y su precio, etc.

Estos agentes pueden ser públicos o privados y lo que buscarán será intentar que el proyecto sea lo más sostenible y estable posible, para poder recuperar en el futuro las inversiones que hayan desembolsado inicialmente y recoger beneficios durante los años de explotación del sistema.

#### 8. Entidades Financieras

Las entidades financieras son los agentes encargados de proporcionar dinero, para que los promotores puedan asumir las inversiones necesarias, con la intención de recuperarlo posteriormente y recibir además una serie de intereses. Por tanto, serán unos agentes claves para determinar la viabilidad del proyecto, ya que son los que

determinan en tipo de interés y todas aquellas condiciones que entran en juego a la hora de solicitar un préstamo.

Estas entidades pueden ser bancos, cajas de ahorros o cooperativas de crédito. Otro aspecto que puede llegar a ser importante es que estos organismos especialistas en el préstamo monetario, realizan estudios intensivos de viabilidad a los proyectos que gestionan, por lo que si finalmente deciden conceder el préstamo, se entiende que es porque han visto que el modelo de negocio es viable y sostenible. Este hecho hace que los promotores se sientan más seguros ya que otro organismo también ha visto con potencial el proyecto al que se pretende realizar la inversión.

#### 9. Cooperativas Agrícolas

Estas cooperativas pueden entrar en juego cuando proporcionen un servicio de venta de residuos agrícolas de biomasa. En función de la estabilidad y estacionalidad que posea el negocio, el precio y suministro de biomasa agrícola podrá variar a lo largo de las temporadas. Estas cooperativas, normalmente, se encontrarán ubicadas cerca de la zona de implantación de la red BioDH, por lo que supondrá otro apoyo importante a la economía circular, al destinarse los residuos agrícolas a satisfacer las demandas de calefacción y producción de ACS de los habitantes de la zona.

### 3.1.4 Factores de Sostenibilidad. Relaciones entre los Agentes

Para realizar esta identificación de los factores de sostenibilidad se ha contado con la ayuda con expertos en este tipo de proyectos, ya que la experiencia es un aspecto clave para identificar todos los existentes. Este es el paso más complejo del modelo y el que más aporta al interés y originalidad del presente trabajo, por eso se procede a explicarlo de forma detallada.

Tras identificar a los agentes y los subsistemas de los que se compone una red de calefacción de biomasa, se procede a evaluar cómo se producen las relaciones entre los diferentes agentes, de forma que se puedan identificar los llamados factores de sostenibilidad. Cada relación existente puede estar formada por ningún factor de sostenibilidad, cuando la relación es inexistente realmente, o por uno o varios factores, en función de la complejidad que tenga la relación.

Los factores de sostenibilidad serán hechos concretos que podrán determinarse fácilmente y que posteriormente serán tratados en el marco matemático para poder obtener resultados generales del conjunto del proyecto. Además, como son específicos, se podrán tomar medidas para corregir aquellos que sean más críticos en cada caso.

En el Anexo A - Tabla de Factores de Sostenibilidad, se presenta en forma de tabla y resumida los factores de sostenibilidad identificados, de forma que se puedan ver de forma directa cuáles son los actores que influyen en cada uno de ellos.

Es importante tener en cuenta que las filas se corresponden con los agentes influyentes y las columnas con los interesados. En todas las relaciones, siempre hay un agente que tiene la capacidad de tomar la decisión y siempre hay otro que puede verse influenciado de forma positiva o negativa con ese hecho. Por tanto entre dos agentes siempre hay dos posibles relaciones, en una de ellas el agente X es el influyente y el Y el interesado, y en la otra relación se invierte.

Esta diferenciación entre los agentes cuando actúan de forma influyente o de forma interesada será clave para poder evaluar correctamente el sistema y saber cuál de ellos va a ser el más beneficiado con el proyecto (agente más interesado) y cuál de ellos ha hecho más acciones para promover la sostenibilidad del mismo (agente más influyente) y por tanto es el que tiene un mayor poder de acción.

Ahora se procede a explicar de forma detallada lo que supone cada uno de los factores de sostenibilidad indicados en la tabla, organizados por relaciones entre agentes que no son nulas. De esta forma se podrá comprender qué supone cada uno de ellos dentro del sistema BioDH y será más sencilla la comprensión del modelo.

#### Relación 12 –Gestor del Monte y Titulares del Recurso

- Plan de Aprovechamientos Destinado a BioUnivDH:

Los planes o programas de aprovechamientos forestales describen como deben ser aprovechados los recursos de un monte de forma sostenible, indicando cuales son susceptibles de poder llevar a cabo su explotación. Si

se redacta de forma anual, se suele emplear el concepto de Plan Anual de Aprovechamientos Forestales (PAA).

Para los titulares de los recursos, que son los beneficiarios de la explotación de los recursos que se encuentran en su propiedad, es muy interesante que los planes de aprovechamiento elaborados por el gestor del monte sean los más eficientes posibles de forma que consigan maximizar sus ingresos.

Estos planes de aprovechamientos se ven influenciados por los planes de ordenación que redacta el gestor medioambiental del monte, en el cual se indican las pautas que deben seguir para garantizar la explotación sostenible del monte. En el caso de España, las funciones del gestor del monte y del medioambiental, las realiza la misma persona, pero existen países donde esta situación no es así.

Será muy importante que estos planes de aprovechamientos sean favorables y consideren, la biomasa forestal que requieren los sistemas de BioDH que entran en juego en la zona afectada, de forma que se pueda tener un grado importante de seguridad y calidad en el suministro de biomasa.

Es importante saber qué cantidad de biomasa forestal existe en la zona y si ésta será suficiente para cubrir toda la demanda que solicita la red de DH. Hay veces que hay que acudir a montes o municipios cercanos para conseguir todo el volumen necesario. Este hecho hace que entren en juego un mayor número de agentes, por lo que la gestión del recurso necesario para la central suele complicarse. Además un factor importante tanto en el ámbito medioambiental como económico son los costes de transporte asociados a la biomasa forestal, de forma que cuanto más cerca se encuentre el recurso de la zona de utilización mejor será.

#### Relación 16 – Gestor del Monte y Usuarios

- Plan de Aprovechamiento Especiales o Cesión de Aprovechamientos

Al igual que en el caso anterior, hay veces en los que los propios usuarios de la red BioDH son titulares del recurso forestal de biomasa. Pueden elaborarse por tanto, algunos planes de aprovechamiento especiales a favor de estos sistemas, en las zonas donde se de esta situación.

A este tipo de usuarios puede llegar a interesarles ceder su terreno para su explotación a favor del BioDH, siempre en busca de obtener beneficio por algún otro medio, como puede ser el caso de ayudas o subvenciones.

#### Relación 17 – Gestor del Monte y Promotor

- Convenios Aprovechamientos para la Zona

El promotor y el gestor del monte podrán reunirse e intentar llegar a acuerdos para realizar planes o convenios de aprovechamiento especiales para considerar y favorecer la inclusión en la zona de la red BioDH.

Estos convenios proporcionarán estabilidad y seguridad en el suministro de biomasa forestal, por lo que mejorará la sostenibilidad global del sistema en conjunto, incluyendo tanto a la propia red de calefacción como a la explotación eficiente y sostenible del monte.

- Duración Precio Estable de la Biomasa

Al promotor, como encargado de la explotación durante los años del BioDH, le es de gran interés asegurar un precio de la biomasa que sea estable, de forma que sus costes de explotación se encuentran más controlados y predecibles.

A la hora de establecer convenios, el precio que va a tener la biomasa suministrada y durante cuántos años va a permanecer a ese nivel, son aspectos que se suelen tratar. Es realmente interesante tener durante un número importante de años un precio de biomasa que posea fluctuaciones ligeras, ya que de forma habitual, este tipo de combustibles no poseen precios estables a lo largo de los años.

En algunos casos, este hecho provoca que los promotores puedan ofrecer a los clientes de la red un contrato con términos de precios fijos, situación muy interesante para favorecer la aceptación e inclusión de un mayor número de usuarios.

#### Relación 27 – Titulares del Recurso y Promotor

- Convenio Cesión Aprovechamientos

En determinadas situaciones, a los titulares de los recursos forestales puede interesarles ceder sus aprovechamientos. Esto se deberá a que se pueden elaborar acuerdos de forma que ambas partes, en este caso

el promotor y los titulares, salgan beneficiadas. Normalmente este tipo de cesiones se suelen realizar a cambio de descuentos en la calefacción, si estos titulares de los recursos son a su vez usuarios de la red.

Por lo general, obtener cesiones de aprovechamiento serán hechos bastantes positivos para la rentabilidad de la red BioDH y por tanto para los promotores de las mismas.

#### Relación 31 – Empresas Suministradoras de Biomasa y Gestor del Monte

- Mercado Local de Biomasa

En algunas zonas, existe un mercado local de biomasa, es decir, hay empresas encargadas de recoger, tratar y comercializar biomasa de origen forestal principalmente. Para el gestor del monte esta es una situación positiva, ya que conllevará a un mayor dinamismo de la actividad forestal debido a que hay empresas de las que sus ingresos dependen de la venta de biomasa, existiendo así una mayor garantía de estabilidad en las actividades forestales a lo largo de los años.

Debido a esto, el cumplimiento de los planes de aprovechamientos será más sencillo, aumentando la eficiencia de la explotación del monte y su sostenibilidad.

#### Relación 32 – Empresas Suministradoras de Biomasa y Titulares del Recurso

- Mercado Local de Biomasa

Situación similar a lo anteriormente descrito pero desde el punto de mira de los titulares del recurso. Éstos podrán verse beneficiados de que exista un mercado en la zona de biomasa que garanticen parte de sus ingresos por la venta de sus recursos forestales.

#### Relación 34 – Empresas Suministradoras de Biomasa y Gestor Medioambiental

- Mercado Local de Biomasa

En este caso, lo que se maximiza con la existencia de un mercado local de biomasa es la garantía de cumplimiento con los planes de ordenación elaborados por el gestor medioambiental. De esta forma se consigue que la explotación del monte se realice de forma sostenible y con menores riesgos ambientales, como es el caso de posibles incendios forestales por no cumplir los plazos en la recogida de biomasa.

#### Relación 37 – Empresas Suministradoras de Biomasa y Promotor

- Duración del Precio Estable de la Biomasa de las Compañías

Se pueden realizar contratos de suministro con las compañías suministradoras de biomasa de forma que se establezcan en ellos unos límites del precio que puede tener el recurso forestal empleado en el funcionamiento del BioDH. En este caso, lo más interesante no es el precio en sí del recurso, si no la duración que va a poseer la biomasa comprada con un precio estable.

- Garantía de Suministro

Debido a la existencia de un mercado local de biomasa, el suministro de combustible forestal de la red de calefacción se encuentra garantizado en mayor medida, proporcionando por tanto, una mayor seguridad y estabilidad al sistema en conjunto.

#### Relación 38 – Empresas Suministradoras de Biomasa y Entidades Financieras

- Duración del Precio Estable de la Biomasa de las Compañías

Al tener valores menos variables de precio de compra de la biomasa empleada como combustible, el sistema poseerá una mayor estabilidad económica, siendo un conjunto más interesante en el que invertir cantidades considerables de dinero.

- Garantía de Suministro

Ya que el sistema BioDH posee mayor seguridad y estabilidad, a las entidades financieras les resultarán más interesantes llevar a cabo inversiones en aquellas zonas donde exista un mercado local de biomasa que sea productivo.

#### Relación 41 – Gestor Medioambiental y Gestor del Monte

- Cumplimiento de los planes de ordenación



Como ya se ha comentado, el cumplimiento real de los planes de ordenación elaborados por el gestor medioambiental, no siempre se llega a producir. Esta situación, debida a la falta de garantías de ingresos, puede convertirse en realmente crítica si se mantiene en el tiempo.

Por tanto, el cumplimiento de estos planes se considera un punto bastante importante a la hora de garantizar la sostenibilidad del ecosistema y si no se cumplen, habrá que tomar medidas de distintas índoles.

#### Relación 45 – Gestor Medioambiental y Ayuntamiento

- Existencia de Normativa Ambiental para Centrales DH

En general, en el caso de España, no existe ningún tipo de normativa específica para establecer los requerimientos de las centrales DH en suelo urbano en el ámbito medioambiental, como puede ser el caso del control de emisiones o ruido.

El ayuntamiento es una agente que entra en juego en este apartado porque es el ente encargado de proporcionar las licencias medioambientales a las instalaciones de este tipo. Además se podrán elaborar normas locales con la ayuda del gestor medioambiental.

#### Relación 46 – Gestor Medioambiental y Usuarios

- Existencia de Problemática de Emisiones

En algunas localidades, debida a la localización que poseen, a la densidad de construcciones y a los sistemas energéticos que se emplean, existen mayores concentraciones de emisiones que en zonas cercanas. Cuando existe alguna problemática de este tipo, hay que tomar medidas para garantizar la salud de las personas y la conservación del ecosistema.

Como ya se ha comentado, para paliar los efectos medioambientales negativos de la generación de energía térmica, los district heating son sistemas idóneos. Por tanto, estas zonas serán más propicias para poder llevar a cabo la implantación de instalaciones de este tipo, debido a que poseen un mayor margen para realizar mejoras ambientales.

#### Relación 47 – Gestor Medioambiental y Promotor

- Existencia de Normativa Ambiental para Centrales DH

En aquellos lugares donde sí exista regulación de este tipo, será más fácil y favorable la implantación de redes de calefacción, al no existir un vacío legal y comprender bien que normativa aplicar en cada caso.

La existencia de normativa promoverá la agilidad y velocidad en los procesos diseño y de obtención de licencias ambientales.

#### Relación 48 – Gestor Medioambiental y Entidades Financieras

- Ayudas sobre derechos de emisión

Según el Ministerio para la Transición Ecológica, “El comercio de derechos de emisión es un instrumento de mercado, mediante el que se crea un incentivo o desincentivo económico que persigue un beneficio medioambiental: Que un conjunto de plantas industriales reduzcan colectivamente las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera” [55].

Se conoce como derecho de emisión, al derecho que posee una determinada instalación, afectada por el Plan Nacional de Asignación (PNA) de Derechos de Emisión, de emitir una cantidad determinada de gases contaminantes, siendo un derecho de tipo transferible, es decir, se puede comprar o vender.

De esta forma, a partir del PNA, se puede determinar los derechos de emisión que le corresponde a cada tipo de instalación afectada por el mismo, en función del sector productivo y de la comunidad autónoma. Por cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida por la instalación que sobrepase los valores de su derecho de emisión (un derecho de emisión es igual a una tonelada de CO<sub>2</sub>), la empresa tendrá que pagar un dinero extra y al contrario, si una instalación posee partes de sus derechos de emisión sin utilizar, podrá venderlos a aquellas empresas que no hayan alcanzado sus objetivos.

En el caso de los sistemas BioDH podrán verse beneficiados por la venta de parte de sus derechos de emisión, siendo así un incentivo más para garantizar la estabilidad económica del proyecto y potenciar el interés de las entidades financieras.

#### Relación 49 – Gestor Medioambiental y Cooperativas Agrícolas

- Plan de Gestión de Residuos

A las cooperativas agrícolas le es de gran interés que exista un plan de gestión de residuos elaborado por el gestor medioambiental y que se adapte a sus requerimientos. De esta forma, los residuos agrícolas se podrán valorizar de forma eficiente, como en el caso de la biomasa agrícola, favoreciendo así la economía circular.

Estos planes son los encargados de determinar de forma precisa quién, cómo y cuándo se deben realizar las tareas de eliminación, gestión y valorización de los residuos procedentes de la actividad agrícola de la zona.

#### Relación 51 – Ayuntamiento y Gestor del Monte

- Plan de Aprovechamiento en Montes Municipales

Hay veces en las que el ayuntamiento es titular de parte del recurso forestal. En estos casos, el ayuntamiento puede comunicar al gestor del monte que pretende favorecer al BioDH ofreciendo planes de aprovechamientos especiales para sus recursos.

#### Relación 52 – Ayuntamiento y Titular del Recurso

- Organización del Ayuntamiento de los Titulares de los Recursos

En determinadas ocasiones, cuando los titulares de los recursos forestales son numerosos entes individuales, el ayuntamiento es el encargado de organizarlos y coordinar sus actos para conseguir beneficios para todos. Por tanto, actúa como intermediario y como interlocutor a la hora de tratar con los titulares de los recursos.

Para la red de calefacción esta situación es muy favorable, ya que no es lo mismo tratar con numerosos propietarios de recurso forestal que con un representante de todos ellos. Se conseguirá por tanto una mayor agilidad a la hora de llegar a acuerdos y de tomar decisiones.

#### Relación 56 – Ayuntamiento y Usuarios

- Bonificación del IBI

El Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI) es un impuesto de tipo anual y municipal, que afecta a los bienes inmuebles, sean urbanos, rústicos o de carácter especial, pertenecientes al término municipal [56]. La normativa básica se encuentra regulada en los artículos 60 al 77 del Texto Refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales, aprobado por el Real Decreto Legislativo 2/2004 de 5 de marzo.

En algunos casos, cuando el ayuntamiento lo considere oportuno, puede bonificar hasta el 95% del IBI que recae sobre los usuarios de la red, favoreciendo de esta forma la inclusión en el sistema de un mayor número de usuarios. Esto se debe a que existen algunas bonificaciones que se justifican por llevar a cabo instalaciones para el aprovechamiento del recurso térmico.

#### Relación 57 – Ayuntamiento y Promotor

- Demanda Edificios Municipales

Una forma eficiente y común de favorecer la implantación de una red de BioDH es la de realizar la conexión al sistema de los edificios municipales. Esto generará una demanda mínima asegurada y fomentará la inclusión de otros usuarios al mostrar una imagen de seguridad y confianza.

Esta medida es relativamente común y suele darse en numerosas ocasiones a la hora de implantar redes de calefacción. Uno de los aspectos que es importante conocer es qué porcentaje de la demanda se destina a este tipo de edificios, que por lo general solicitan energía de una forma más estable, para saber si es una cantidad importante o no respecto a la solicitada por el resto de los usuarios.

Por otro lado, ayuntamiento también se verá beneficiado al promover la eficiencia energética y la sostenibilidad en la energía térmica de sus edificios.

- Bonificación ICIO, Declaración de Utilidad Pública

El Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras se aplica a cualquiera de estas actividades que se lleven a cabo dentro del término municipal para las que sea necesaria la obtención de licencias de obras o urbanísticas [56].

En determinados casos, la implantación de un sistema BioDH puede considerarse una obra de especial interés o utilidad municipal, ya que fomenta la actividad económica y el empleo de la zona y aprovecha de forma eficiente la energía térmica. En función del caso que sea, el ayuntamiento puede decidir bonificar parte del ICIO (95% como máximo), produciendo así un importante ahorro a la hora de realizar la inversión inicial.

- Cesión de Suelos

En determinadas situaciones, el Ayuntamiento puede ser propietario del terreno donde se va a implantar la central de generación y puede llegar a ceder el suelo para este favorecer al proyecto o para conseguir alguna oferta interesante. Este será otro elemento que puede reforzar la relación Ayuntamiento – Promotor, al disminuir el desembolso inicial a realizar.

- Canon por porcentaje de ocupación del suelo público

Las obras que circulan por vía pública, como es el caso de los district heating, deben pagar un canon o alquiler por utilizar parte del suelo público en su funcionamiento, como sucede con la red de distribución. Esta cuota la deben pagar, en principio, todas aquellas empresas que tengan instalaciones en las condiciones explicadas anteriormente.

Sin embargo, en determinadas ocasiones, si el ayuntamiento lo ve oportuno puede bonificar parte de este cobro a la empresa explotadora de la red de calefacción, concediéndole así un carácter especial al proyecto y favoreciendo la sostenibilidad económica del sistema.

- Existencia de normativa local de implantación de centrales en suelo urbano

En el caso de España, no existe ninguna norma local que regule la implantación de las centrales térmicas de generación térmica en suelo urbano. Este hecho hace que no se puedan diseñar las instalaciones en base a alguna legislación o norma que asegure el correcto cumplimiento ambiental y un funcionamiento óptimo que no afecte a otros sistemas ni a las personas del entorno.

Al no estar regulado, es más difícil obtener todas las licencias necesarias para comenzar las obras y es necesario acudir a regulaciones instalaciones que puedan semejarse. En el caso de los países donde este tipo de tecnología se encuentra más desarrollada, sí que suele existir normativa específica para la implantación de centrales de generación en suelo urbano, agilizando así todas las actividades que hay que ir realizando a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

#### Relación 58 – Ayuntamiento y Entidades Financieras

- Demanda Edificios Municipales

Como ya se ha comentado, es importante conocer qué parte de la demanda a cubrir por la red de calefacción se corresponde con la solicitada por edificios públicos o municipales. Desde el punto de vista de las entidades financieras, esta situación es interesante debido a que estos edificios suelen tener demandas más estables a lo largo del tiempo, de forma que asegura parte de los ingresos que va a obtener el sistema y proporciona un cierto plus a la estabilidad económica del conjunto.

- Duración del contrato edificios públicos conectados

Además del porcentaje de la demanda, otra característica a valorar para cuantificar la sostenibilidad económica, aspecto clave para que las entidades financieras entren en juego, es la duración que poseen los contratos de los edificios municipales o públicos.

Si el ayuntamiento firma contratos de suministro generosos en el aspecto de duración, las entidades financieras verán el proyecto como una posible inversión más interesante que si la duración de los mismos fuera corta.

#### Relación 84 – Cooperativas Agrícolas y Ayuntamientos

- Bonificación IAE

El Impuesto de Actividades Económicas, es una tasa que se aplica a todas las actividades empresariales, profesionales o artísticas en que se efectúen en el territorio español [57]. En determinados casos, como cuando se considera que la actividad económica es de especial interés o de utilidad municipal, cuando sean cooperativas o cuando la actividad económica genere o produzca energías renovables, el ayuntamiento puede bonificar parte del IAE (95% como máximo) en función de los requisitos que cumplan las cooperativas agrícolas.

Esta bonificación puede ser de gran interés y por tanto reforzará la relación entre estos dos agentes si se llega a producir.

#### Relación 65 – Usuarios y Promotor

- Densidad de la Demanda. Densidad Lineal de Calor

La densidad lineal de calor de la demanda es uno de los parámetros más importante en el aspecto técnico de las redes de calefacción. En los district heating, donde la generación de calor se realiza de forma centralizada en uno o varios puntos y posteriormente hay que transportar esa energía hasta entregársela a los usuarios, no interesa que la densidad de la demanda se encuentre muy distribuida, porque conllevaría a dos situaciones no deseables.

Por un lado, el aspecto de inversión se ve afectado porque la longitud de la red de distribución será mayor para el mismo número de usuarios. Por otro lado, se producirán pérdidas energéticas mayores en la distribución, lo que afectará al rendimiento energético global del sistema.

En las zonas rurales, la densidad de la demanda es considerablemente inferior que la de las zonas urbanas, por lo que será un indicador clave a valorar correctamente ya que puede limitar el interés de llevar a cabo la implantación de la red.

En las zonas urbanas también es un indicador clave pero en estos casos hay que tener especial atención, debido a que en general las viviendas son unifamiliares y hay una alta proporción de segundas viviendas y construcciones vacías [13].

Esta densidad de la demandad puede venir determinada por cómo se distribuyen en el municipio las viviendas que sí desean tener acceso a la red de calefacción, siendo lo óptimo que las mismas se concentren en alguna zona del mismo y poder emplazar la central en una zona cercana, siempre buscando que la longitud de la red sea lo más óptima posible para reducir la inversión y los costes de operación.

#### - Aceptación del Proyecto

En muchas ocasiones los usuarios se oponen a la implantación de este tipo de instalaciones, debido principalmente al desconocimiento de estos sistemas o a las molestias que pueden suponer las obras que son necesarias. Además, de forma general, a los usuarios les cuesta cambiar instalaciones propias como calderas por sistemas centralizados con es el caso de los BioDH.

Entonces en el caso de que los usuarios de una zona no se opongan a la implantación del BioDH, será un aspecto muy importante a tener en cuenta por el promotor, al asegurarse una cierta estabilidad y sostenibilidad social en el área de afección. Este grado de aceptación se podrá determinar con el uso de encuestas u otros métodos similares.

#### - Duración del Contrato

Si los usuarios llegan a firmar contratos de larga duración, se conseguirá que el BioDH tenga un nivel de ingresos determinados durante un tiempo importante, proporcionándole así una mayor estabilidad al proyecto, al reducirse el nivel de riesgo económico existente.

#### - Cesión del Recurso Forestal

En aquellos casos en que los usuarios de la red sean los propios titulares de los recursos de biomasa forestal, se podrán llegar a distintos acuerdos personalizados entre los promotores y estos usuarios, de forma que se llegue a un acuerdo que beneficie a ambas partes (win to win).

Normalmente, el tipo de acuerdo que se lleva a cabo es el de ofrecer descuentos en la calefacción a aquellos usuarios que hayan cedido sus recursos forestales.

#### - Cesión del Recurso Agrícola

Igual que en el caso anterior, se pueden establecer acuerdos de forma que aquellos usuarios de la red, que sean propietarios de biomasa agrícola y cedan parte de la misma, obtengan algún tipo de beneficio por parte del promotor.

### Relación 71 – Promotor y Gestor del Monte

#### - Cumplimiento de los Planes de Ordenación Forestales

La red de district heating puede ser una herramienta para conseguir que se cumplan de forma completa los planes de ordenación forestales. En la mayoría de los casos, estos planes no se llegan a cumplir debido a que no existe una garantía de venta posterior de la biomasa recolectada, por lo que se toma la decisión de no hacer este proceso. Esta situación hace que la explotación del monte no sea eficiente y aumenta también el posible riesgo de incendio en el mismo.

Gracias a la red de calefacción, la compra de biomasa local se encuentra asegurada durante el periodo de operación de la misma, por lo que el problema económico no supondrá un impedimento para llevar a cabo todas las tareas que se especifican en los planes de ordenación forestales.

De esta forma se demuestra que la red puede ser interesante implantarla en zonas donde actualmente no se estén cumpliendo estos planes, al ser un elemento catalizador para revertir esta situación desfavorable.

#### Relación 72 – Promotor y Titular del Recurso

- Garantizar los ingresos de los titulares de los recursos

Como la red de calefacción va a solicitar de forma estable una cantidad periódica de biomasa forestal, los titulares de los recursos van a tener garantizados una serie de ingresos a lo largo de los años de operación de la misma.

Si antes de implantar la red, los titulares ya tenían garantizados los ingresos, tal vez no les supone un gran cambio en la estabilidad de sus ingresos, pero en caso contrario, sí que será una actuación favorable para promover y activar el mercado local de biomasa.

- Descuento por cesión de aprovechamientos

Como ya se ha comentado, a aquellos titulares del recurso que también sean usuarios de la red y cedan parte de sus recursos, se les podrá ofrecer algún tipo de beneficio, como puede ser descuentos en sus tarifas de calefacción o de generación de ACS.

#### Relación 73 – Promotor y Empresas Suministradoras de Biomasa

- Duración de los contratos de suministro

Tanto para el promotor como para las empresas suministradoras de biomasa puede llegar a ser muy interesante formalizar contratos de larga duración para poder controlar sus gastos e ingresos de forma precisa a lo largo de los años, lo que proporcionará una mayor estabilidad económica al conjunto.

#### Relación 74 – Promotor y Gestor Medioambiental

- Reducción de los niveles de emisiones

De forma general, las instalaciones de calefacción urbana consiguen disminuir el conjunto de emisiones contaminantes que emitían los sistemas que ha reemplazado, debido principalmente al aumento de eficiencia energética global del sistema. Por otro lado, en el caso de utilizar biomasa como combustible, hace que el sistema pueda tener un nivel de emisiones neutra si se opera de forma correcta.

Además, la implantación de instalaciones de este tipo que son sostenibles medioambientalmente, serán más interesantes aún llevarlas a cabo en zonas donde actualmente exista alguna problemática ambiental, consiguiendo así un mayor impacto positivo en el municipio.

#### Relación 75 – Promotor y Ayuntamiento

- Imagen de progreso y modernidad en el municipio

Gracias a la inclusión de un sistema referente en el ámbito de la energía térmica, el municipio gana una señal de identidad de progreso y de conciencia con el medioambiente y el desarrollo sostenible. Principalmente, en el caso de España donde las redes de calefacción no son muy comunes, la implantación de una de ellas hace que el municipio parezca más avanzado, desarrollado y moderno que el resto de los municipios cercanos.

- Edificios públicos de cero emisiones

En un futuro no muy lejano, los edificios públicos deberán tener un nivel cero de emisiones contaminantes. Con el district heating se consigue que este objetivo sea más fácil alcanzarlo, sobre todo en aquellos casos donde el combustible que sea use sea renovable, como es el caso de la biomasa.

- Canon por porcentaje de ocupación de suelo público

Como ya se ha comentado anteriormente, los propietarios de instalaciones que discurran por suelo público deben pagar un canon al ayuntamiento. De esta forma, el ayuntamiento podrá recibir una serie de ingresos por parte del promotor del district heating si no llega a bonificar parte del mismo.

#### Relación 76 – Promotor y Usuarios

- Descuentos en la calefacción

Los promotores de los proyectos podrán realizar a los usuarios una serie de ofertas y descuentos para favorecer la conexión por parte de los mismos a la red. Estos descuentos en la calefacción deberán ser lo suficientemente interesantes para que los usuarios lleguen a tomar la difícil decisión de cambiar su sistema de generación individual.

- Financiación de los equipos individuales

Cuando considere oportuno, el promotor puede financiar los equipos individuales que sean necesarios instalar para poder implantar la red de calefacción, de forma que a los usuarios les resulte más interesante conectarse a la misma para cubrir su demanda.

#### Relación 79 – Promotor y Cooperativas Agrícolas

- Garantizar los ingresos de las cooperativas agrícolas

Al igual que en el caso del recurso forestal, la red de calefacción es capaz de asegurar la compra de biomasa agrícola a lo largo de sus años de funcionamiento, por lo que consigue garantizar los ingresos de las cooperativas. Esta situación será muy favorable si actualmente las mismas no poseen garantías de compra de sus productos.

- Descuentos por cesión de recursos agrícolas

En algunos casos, se podrán llegar a acuerdos entre el promotor y las cooperativas de forma que estas últimas se puedan beneficiar de ceder parte de sus recursos a la red de calefacción. Normalmente esta situación sucede si los propios responsables de las cooperativas son también usuarios de la red.

#### Relación 87 – Entidades Financieras y Promotor

- Financiación sin recurso de accionista

Se refiere a aquella financiación que se encuentra relacionada con un activo (edificio, maquinaria, préstamo, etc) o varios de ellos, con la cual el deudor no tiene que responder con el resto de su patrimonio. Como es lógico, será interesante disponer de una financiación con estas condiciones para llevar a cabo los proyectos.

- Plazo de financiación

Este concepto se refiere al plazo de tiempo en el que se generan cuotas regulares debida a la financiación contratada. Las cuotas regulares serán la suma de los intereses más las cantidades amortizadas. En proyectos del tipo de redes de calefacción suele ser interesante tener un plazo de financiación mayor a 15 años.

- Carencia

El periodo de carencia es un plazo durante el cual el deudor no está obligado a abonar las cuotas regulares de la financiación. La carencia es una cláusula presente en los contratos. Normalmente, este retraso o aplazamiento en los pagos financieros será conveniente para que la empresa deudora pueda estabilizar sus ingresos antes de hacer frente a las deudas, por ejemplo, no empezar los pagos hasta que no se finalicen las obras y la instalación se encuentra ya en funcionamiento.

- Apalancamiento

El apalancamiento financiero es la acción de endeudarse para financiar un proyecto. La principal ventaja que se consigue con el apalancamiento es que se consigue mejorar la rentabilidad financiera de los proyectos que se ejecuten; en cambio, el inconveniente es que se puede llegar a la situación de que los beneficios que se suponían que iba a generar el proyecto sean deficitarios, pudiendo llegar a declararse la empresa como insolvente.

- Garantía de recurso

Por parte de las entidades financieras es importante saber si la obra o proyecto posee garantía de recurso, es decir, si existe fiabilidad de que el sistema va a operar según lo previsto y se parte de los ingresos que va a generar están garantizados por los posibles abonados al servicio.

En este aspecto, influye claramente la duración de los contratos de suministro con los usuarios de la red, la cantidad de edificios públicos conectados, la estabilidad del precio de la biomasa, etc.

#### Relación 86 – Cooperativas Agrícolas y Promotor

- Contrato de Suministro

Se pueden elaborar contratos especiales que consigan satisfacer a los dos agentes que entran en juego. Por un lado, el sistema BioDH garantiza una demanda mínima de biomasa agrícola a las cooperativas, nivel que se

mantiene año tras año (aunque variable entre estaciones). Por otro lado, el sistema BioDH se ve beneficiado porque las cooperativas garantizarán un volumen de biomasa y probablemente con menores fluctuaciones en el precio.

- Plazo del contrato

El plazo que tenga el contrato también será un indicador importante para la estabilidad y sostenibilidad económica del sistema, ya que hace más previsibles y controlables los costes de operación que se dan durante los años de funcionamiento.

- Periodo durante el que el precio de la biomasa es estable

El precio de la biomasa es un valor por lo general bastante fluctuante. En cambio, si se consiguen llegar a acuerdos para el suministro de la misma con productores concretos, se podrán conseguir precios menos variables. Esto será casi siempre un aspecto positivo para las redes de BioDH, porque consiguen hacer más predecibles sus costes variables.

En algunos casos, este hecho provoca que los promotores puedan ofrecer a los clientes de la red un contrato con términos de precios fijos, situación muy interesante para favorecer la aceptación e inclusión de un mayor número de usuarios.

- Volumen de biomasa agrícola

Puede ser interesante controlar y determinar qué porcentaje de la biomasa total que requiere la red proviene de fuentes agrícolas, ya que normalmente, éstas suelen tener un precio inferior al de la biomasa forestal. Por otro lado, este tipo de biomasa se comercializa en cantidades bastante menores que la de tipo forestal.

### **3.4. CUESTIONARIO DE VALORACIÓN**

Una vez que se ha comprendido e implantado el modelo BioUnivDH, se puede desarrollar la interfaz entre los proyectistas o promotores y el modelo propuesto. Esta interfaz será un cuestionario, donde se irán realizando una serie de preguntas sencillas y concretas sobre cada uno de los factores de sostenibilidad descritos en el modelo BioUnivDH.

El objetivo es cuantificar numéricamente, en este caso con números comprendidos entre 0 y 10, el grado de implantación de cada uno de los factores de sostenibilidad dentro del sistema. Es decir, es necesario pasar de hecho reales y tangibles a valores numéricos. Rellenando el cuestionario se podrán conocer los valores numéricos de todos los factores de sostenibilidad, que serán las entradas que requiere el marco matemático posterior.

Habrán factores de sostenibilidad que serán sencillos de evaluar ya que pueden ser de todo o nada sus respuestas, pero habrá otros que serán más complejos que exijan un estudio mayor. Como las evaluaciones deben encontrarse entre los valores 0 y 10, siendo 10 el grado óptimo, lo interesante es establecer los límites posibles de cada una de las respuestas del cuestionario, de forma que el límite inferior se corresponda con 0 y el superior con 10; los valores intermedios se obtendrán interpolando los resultados.

En el Anexo B - Tabla de Valores Límites del Cuestionario de Evaluación, se pueden ver los valores límites que se han establecido para cada uno de los factores de sostenibilidad, los cuáles determinan los valores numéricos que asigna el cuestionario a cada uno de los factores.

Cuando ya se tengan todos los valores numéricos de los factores de sostenibilidad, se puede pasar exponer la segunda parte del modelo BioUnivDH.

### **3.5. MODELO BIOMASS UNIVERSAL DISTRICT HEATING (SEGUNDA PARTE)**

Esta segunda parte comienza asumiendo que se conocen todos los factores de sostenibilidad (relaciones entre agentes) que entran en juego en el sistema BioUnivDH. Estos factores, una vez evaluados numéricamente (gracias al cuestionario de valoración), serán las entradas al sistema matemático que es el que se encargará de realizar los cálculos necesarios para convertir esas evaluaciones específicas en evaluaciones numéricas del conjunto de la red de calefacción urbana.

Por tanto, gracias al marco matemático (que actuará como una calculadora), se podrán obtener indicadores globales de sostenibilidad, nivel de influencia y de interés de cada uno de los agentes y cómo de fuerte son las relaciones entre los agentes, para poder saber dónde tomar medidas correctivas. Todo ello se obtendrá a partir de la evaluación numérica sencilla de los diferentes factores de sostenibilidad, usando para ello el cuestionario propuesto.

Se procede a exponer el marco matemático, mostrando todas las fórmulas y relaciones que aparecen en el mismo.

Primero se define de forma escrita los diferentes Factores de Sostenibilidad. Hay que tener en cuenta que “i” es el agente influyente y “j” es el agente interesado. Por tanto “n” será el número de agentes implicados en el BioUnivDH.

$$FS_{ij}^w, \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; w = 1, \dots, m \quad (3-1)$$

Después se pasa a evaluar numéricamente los Factores de Sostenibilidad,  $FS_{ij}^w$ , teniendo en cuenta que los valores se deben encontrar en el rango de [0, 10]. Estos factores de sostenibilidad son los parámetros que cambiarán su valor de un proyecto a otro (el resto de valores de entrada, una vez que se definan, son fijos para una misma evaluación de proyectos), por tanto, serán la base que determine el nivel de sostenibilidad que posee el proyecto en cuestión.

Se establecen los Ponderadores Parciales de los Factores de Sostenibilidad, que serán los mismos a la hora de comparar distintos modelos, es decir, son parámetros que se encuentran implícitos dentro de la metodología.

$$k_{ij}^w, \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; w = 1, \dots, m \quad (3-2)$$

Habrà un Ponderador Parcial para cada uno de los Factores de Sostenibilidad. Se evaluarán en el rango de [0,5].

A continuación se pasa a obtener los Indicadores de Relación entre Agentes los cuáles mostrarán numéricamente el nivel de fortaleza que posee las relaciones, teniendo en cuenta que en cada una, el agente “i” será el influyente y el “j” será el interesado o beneficiado. Estos indicadores se obtendrán de la siguiente forma:

$$R_{ij} = \frac{k_{ij}^1 \cdot FS_{ij}^1 + k_{ij}^2 \cdot FS_{ij}^2 + \dots + k_{ij}^w \cdot FS_{ij}^w + \dots + k_{ij}^m \cdot FS_{ij}^m}{\sum_{w=1}^m k_{ij}^w}, \quad (3-3)$$

$$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$$

Por un lado se tiene que para todo  $i = j$ ,  $R_{ij} = 0$  ( $R_{ii} = 0$ ). También se puede comprobar que los valores que toman los Indicadores de Relación entre agentes también se encuentran en el rango de [0, 10].

Se obtiene por tanto la Matriz de Relación entre Agentes:

$$\begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1j} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2j} & \dots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{i1} & R_{i2} & \dots & R_{ij} & \dots & R_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nj} & \dots & R_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & R_{12} & \dots & R_{1j} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & 0 & \dots & R_{2j} & \dots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{i1} & R_{i2} & \dots & R_{ij} & \dots & R_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nj} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Si se desea conocer la relación global existente entre un agente y otro  $R_{ij}^{Global}$ , se puede obtener sumando las dos relaciones existentes entre esos dos agentes:

$$R_{ij}^{Global} = R_{ij} + R_{ji} \quad (3-4)$$



Entre dos agentes siempre va a existir dos relaciones, ya que en una de ellas uno de los agentes actúa como el influyente en la otra al revés, aunque es cierto que en determinadas ocasiones una de esas relaciones puede ser cero o nula.

Por otro lado, se define la Matriz de Ponderación de Relación entre Agentes, que también será la misma a la hora de comparar distintos proyectos, por lo que serán valores implícitos de la metodología una vez que se defina en función de las suposiciones y de acudir a juicios de expertos.

El objetivo de cada  $P_{ij}$  será el de valorar el peso que posee la relación del agente “i” y el “j”, respecto al resto de relaciones que posee el agente “i”, siendo “i” el agente influyente y “j” el interesado. Por tanto, en aquellas ocasiones donde no existe relación alguna entre el agente influyente “i” y el “j”, el valor que se tomará será  $P_{ij} = 0$ .

Como es lógico, todos los valores de la diagonal de esta matriz también serán cero, debido a que se está considerado al mismo agente como influyente e interesado,  $P_{ij} = 0$ , si  $i = j$  ( $P_{ii} = 0$ ).

Por tanto, esta matriz no tiene porqué ser simétrica y solo lo será en algunas ocasiones determinadas o especiales.

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1j} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2j} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{i1} & P_{i2} & \cdots & P_{ij} & \cdots & P_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nj} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & \cdots & P_{1j} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & 0 & \cdots & P_{2j} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{i1} & P_{i2} & \cdots & P_{ij} & \cdots & P_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nj} & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

Los valores que podrán tomar estos ponderadores se encuentran en el rango de [0, 5].

Con todo lo anterior definido se puede determinar la Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes, a partir de la siguiente expresión:

$$C_{ij} = \frac{10 \cdot P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij}} \quad (3-5)$$

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1j} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2j} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \cdots & C_{ij} & \cdots & C_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nj} & \cdots & C_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & C_{12} & \cdots & C_{1j} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & 0 & \cdots & C_{2j} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \cdots & C_{ij} & \cdots & C_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nj} & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

Después se pasa a obtener la Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados, que tiene una obtención análoga a la anterior:

$$D_{ij} = \frac{10 \cdot P_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \quad (3-6)$$

$$\begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & \cdots & D_{1j} & \cdots & D_{1n} \\ D_{21} & D_{22} & \cdots & D_{2j} & \cdots & D_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{i1} & D_{i2} & \cdots & D_{ij} & \cdots & D_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{n1} & D_{n2} & \cdots & D_{nj} & \cdots & D_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & D_{12} & \cdots & D_{1j} & \cdots & D_{1n} \\ D_{21} & 0 & \cdots & D_{2j} & \cdots & D_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{i1} & D_{i2} & \cdots & D_{ij} & \cdots & D_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{n1} & D_{n2} & \cdots & D_{nj} & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

Estas dos últimas matrices ( $C_{ij}$ ,  $D_{ij}$ ) cumplirán una función doble. Por un lado, ponderarán la influencia que posee cada uno de los agentes respecto al resto, en función de lo establecido en la matriz  $P_{ij}$ . Por otro lado, también conseguirán que los resultados posteriores obtenidos se encuentren todos expresados en base 100, es decir, consigue ajustar y establecer una escala común para todos los resultados, de forma que éstos sean comparables fácilmente y parametrizables.

Por último, se puede calcular la Matriz de Influencia,  $I_{ij}$  y la Matriz de Interés,  $B_{ij}$ . Para ello se emplearán las siguientes expresiones que relacionan la Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes, la Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados y la Matriz de Indicadores de Relaciones entre Agentes.

$$I_{ij} = R_{ij} \cdot C'_{ij} \quad (3-7)$$

$$B_{ij} = R'_{ij} \cdot D_{ij} \quad (3-8)$$

Los valores que realmente son de interés en estas matrices son únicamente los que aparecen en la diagonal, ya que son los resultados de ponderar de forma correcta con las filas o columnas de las matrices  $C_{ij}$  y  $D_{ij}$ . El valor  $I_{ii}$  indicará el nivel de influencia que posee el agente “i” dentro del sistema BioUnivDH. En cambio,  $B_{ii}$  representará el nivel de interés o de beneficio que posee el agente “i” dentro del sistema BioUnivDH.

Los valores que alcanzan estos indicadores se encuentran en el rango de [1, 100], por lo que si se obtiene un valor de influencia de un agente determinado de 80, por ejemplo, significa que sobre un máximo de nivel de influencia de 100, ese agente, en ese proyecto, posee un nivel de 80, siendo posible comparar estos valores con otras localizaciones y proyectos.

Con estos Indicadores de Influencia e Interés para cada agente se pueden elaborar Gráficos Radiales de Influencia e Interés de los Agentes, donde se muestren claramente, las fortalezas y las flaquezas que posee cada uno de los agentes en dentro del proyecto de BioUnivDH en el que se encuentre.

Por último se podrá obtener el Factor de Sostenibilidad Global del Sistema, para ello se empleará la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot I_{ii} + y_i \cdot B_{ii})}{2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i} \quad (3-9)$$

Dónde  $x_i$  es simplemente el número de factores de sostenibilidad que participan en la influencia de del agente i; análogamente,  $y_i$  es el número de factores de sostenibilidad que participan en el interés del agente i. Teniendo en cuenta esto se puede comprobar fácilmente que se tiene que cumplir que  $\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i$ .

Esta fórmula lo que hace realmente es una sencilla suma ponderada de los diferentes indicadores de influencia e interés de los agentes, de forma que cada uno tenga el peso que le corresponde en el factor global de sostenibilidad del sistema. La fórmula también se ha diseñado para que los posibles valores que tome este factor global se encuentren siempre entre 0 y 100.

Este factor cuantifica numéricamente el nivel de sostenibilidad que posee el sistema en su conjunto. Proporciona una idea global, rápida y sencilla de la sostenibilidad del BioDH y al ser un parámetro numérico es fácilmente comparable con otros proyectos. Sin embargo, para profundizar y analizar con más detalle el estudio de sostenibilidad habrá que acudir al resto de datos que hemos ido obteniendo en la metodología, así como a los Gráficos Radiales de Influencia e Interés de los Agentes.

Una vez que se hayan definido todos los Ponderadores Parciales de los Factores de Sostenibilidad,  $k_{ij}^w$  y la Matriz de Ponderación de Relación entre Agentes,  $P_{ij}$ , este marco matemático actuará como una calculadora, proporcionando los resultados requeridos cuando se les introduzcan las entradas, que son la evaluación numérica de los factores de sostenibilidad. Esto se debe a que los ponderadores establecidos de forma inicial ya serán los mismos para todas las evaluaciones que se llevan a cabo, para que los resultados estén en una base común y poder compararlos.

Para determinar los ponderados usados en este trabajo, también ha sido necesario acudir a expertos de proyectos de redes de calefacción, de forma que para los  $k_{ij}^w$  han sabido identificar cuáles de los factores de sostenibilidad eran más importantes con respecto a otros y para la  $P_{ij}$  han sabido exponer qué relaciones entre agentes hay que potenciar más que otras porque poseen una relevancia más importante en el conjunto del proyecto.

Con todos estos ponderadores lo que se pretende conseguir es que los resultados obtenidos sean lo más realista posible, al jerarquizar dentro del modelo tanto los factores de sostenibilidad como las relaciones de los agentes.

Los valores de los Ponderadores Parciales de los Factores de Sostenibilidad establecidos en este trabajo, gracias a la ayuda de expertos, se pueden ver en el Anexo C - Tabla de Ponderadores Parciales de los Factores de Sostenibilidad. Por otro lado, la Matriz de Ponderación de Relación entre Agentes seleccionada y utilizada con la ayuda de expertos es la siguiente:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 2 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 5 & 3 & 4 & 1 & 4 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 5 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 3 & 4 & 4 & 5 & 5 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

El modelo es válido para aplicarlo en cualquier localización posible, pero puede que en determinadas ocasiones, en función de la situación que se tenga, tal vez sería interesante modificar los ponderadores e índices que se han empleado en este trabajo, ya que puede que la jerarquización entre agentes y factores de sostenibilidad varíe entre países.

Los expertos que han participado para determinar los coeficientes que se han establecido en el modelo, son especialistas en proyecto llevados en España principalmente, por lo que puede que los ponderadores establecidos no sean los óptimos para otras localizaciones. En resumen, puede que en el modelo haya que modificar ligeramente sus valores implícitos, para aplicarlo a otras localizaciones.

Un aspecto importante a resaltar es que puede haber determinados proyectos reales donde no entren en juego alguno de los agentes que se han tenido en cuenta en esta metodología. Aquí se está mostrando el caso más genérico y completo, de forma que pueden existir otras situaciones más sencillas.

En el caso de que alguno de los agentes no participen y no se desee penalizar a los resultados de la sostenibilidad de la red, será necesario adaptar las matrices de cálculo que se han ido comentando en este marco matemático. Lo único que habría que hacer es eliminar aquellas filas y columnas que se correspondan con aquel o aquellos agentes que no participen y que no se quieren considerar.

Una vez realizada esta adaptación (el objetivo es que las matrices siempre tengan una dimensión de acorde a los agentes implicados), el resto de los pasos y procedimientos siguen siendo los mismos que se acaban de comentar.

### 3.6. EVALUACIÓN BIOMASS UNIVERSAL DISTRICT HEATING

Una vez que el modelo ha arrojado los resultados de sostenibilidad se puede proceder a valorar los mismos y a usarlos como parámetros comparadores entre diferentes alternativas. Los principales resultados que se tienen son:

- Factor de Sostenibilidad Global del Sistema,  $S$ .
- Indicadores de nivel de influencia y de interés sobre el proyecto de cada uno de los agentes.
- Nivel de relación existente entre cada uno de los agentes.

El proceso de evaluación se puede componer de tres partes. La primera consiste en analizar los resultados obtenidos del BioUnivDH de estudio, valorando si los resultados obtenidos, principalmente el factor de sostenibilidad global, son aceptables.

Si se valora que los resultados obtenidos son aceptables, se procede a comparar estos indicadores con los obtenidos en otras alternativas de redes de calefacción (a las que se le habrán aplicado el mismo procedimiento que el modelo BioUnivDH). De esta forma se podrán jerarquizar y ordenar las diferentes alternativas de proyecto que se tengan.

Por último, también se podrán tomar medidas correctoras en los sistemas que consigan mejorar el nivel de sostenibilidad del mismo. Para ellos, será necesario acudir a los resultados particulares e intermedios que posee el modelo. Los Indicadores de nivel de influencia y de interés de los agentes y sus niveles de relación serán los parámetros clave a analizar, para localizar dónde se producen los mayores déficits dentro del sistema.

Una vez identificadas las relaciones más críticas, se podrá acudir al listado de los factores de sostenibilidad de los que se componen esas relaciones, de forma que se podrá ver uno a uno cuál de ellos se cumple y cual no. Una vez que se hayan identificado los factores de sostenibilidad que son más importantes mejorar, se pueden tomar las medidas necesarias para conseguir revertirlos (si se pueden modificar) y conseguir así potenciar el nivel de sostenibilidad global de la red de calefacción de biomasa.





# 4 CASOS DE ESTUDIO

---

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Universidad de Sevilla*

*Sevilla, 2019*

Ahora se procede a mostrar la aplicación práctica del modelo BioUnivDH descrito en la metodología. Se aplicará el mismo a cuatro casos reales con la finalidad de la que la comprensión de los conceptos explicados en este trabajo sea completa.

Analizando el lado práctico del modelo, se consigue demostrar el posible potencial que posee para realizar evaluaciones de sostenibilidad e identificar fortalezas y debilidades de los sistemas de redes de calefacción con biomasa. Todos los resultados, tanto intermedios como finales, que se han ido obteniendo en cada caso se pueden ver en Anexo D - Resultados de los Casos de Estudio.

## 4.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una vez que el modelo se encuentra desarrollado y el marco matemático implantado en algún software de cálculo, la obtención de los resultados de los casos de estudios es muy directa, ya que lo necesario será recolectar toda la información previa que se necesita del entorno del proyecto y rellenar el cuestionario de valoración. Una vez que se tengan los resultados se procederán a interpretarlos de forma correcta.

El objetivo principal es analizar la sostenibilidad de los sistemas desde sus tres puntos de vista, medioambiental, social y económico, de forma que se puedan realizar comparaciones y obtener conclusiones del potencial real que poseen.

Otro de los objetivos que se tiene con la exposición de estos casos de estudio, es ver de forma práctica como se utiliza el modelo, ya que en la parte de la metodología se ha presentado de forma teórica el mismo. Así se podrá comprender mejor y aclarar algunos conceptos que puedan no estar lo suficientemente claros.

## 4.2. EXPLICACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIOS Y DATOS GENERALES

Se van a realizar cuatro casos de estudios que están basados en proyectos reales de redes de calefacción urbana de biomasa en distintas localizaciones de España. Las localidades donde se encuentran los proyectos son se localizan en las siguientes provincias:

- Caso de Estudio 1: Provincia de Soria
- Caso de Estudio 2: Provincia de Madrid
- Caso de Estudio 3: Provincia de Albacete
- Caso de Estudio 4: Provincia de Jaén

Primero, en la Tabla 4-1 se presentan los datos generales de los diferentes proyectos, que contienen aspectos de diferente índole como social, económica o técnica. Para garantizar la confidencialidad de los datos expuestos, se evita la especificación del municipio y de otros datos más específicos que no son relevantes para el estudio que se pretende realizar en este trabajo.

Tabla 4-1 Datos generales de los casos de estudio

Concepto	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Localización (Provincia)	Soria	Madrid	Albacete	Jaén
Habitantes	1502	1919	1998	3060
Índice Pobreza Energética (%)	48.58	50.28	21.29	13.24
Número Total Viviendas	824	1050	1545	2418
Número Primeras Viviendas	530	745	770	1324
Potencia Térmica (MW)	7.91	10.11	10.53	1.9
Grados Días Base 20 (°C/año)	3439	4133	3359	2567
Demanda Calefacción (MWh/año)	10090	15063	13281	3682
Biomasa Requerida DH (t/año)	6313	9306	8316	2301
Biomasa Disponible Municipio (t/año)	15969	8830	8799	3839
Longitud de la Red (m)	4792	8456	11905	3008
Densidad Lineal de Calor (MWh/(año·m))	2.11	1.78	1.12	1.22
Inversión en el DH (M€)	2.9	4.2	5	0.8
Precio Compra Biomasa (€/t)	73.79	57.74	67	60

Tras presentar la situación general que posee cada uno de los casos de estudios, se procede a evaluar los niveles de sostenibilidad que poseen, aplicando para ello el modelo BioUnivDH propuesto. Los cuatros casos de estudio se encuentran ubicados en España, pero el modelo permite realizar evaluaciones en cualquier localización.

Los expertos que han participado para determinar los coeficientes que se han establecido en el modelo, son especialistas en proyecto llevados en España principalmente, por lo que puede que los ponderadores establecidos no sean los óptimos para otras localizaciones. En resumen, puede que en el marco matemático haya que modificar ligeramente sus valores implícitos, para aplicarlo a otras localizaciones. Sin embargo, para aplicarlos en los casos de estudio propuestos, sí que serán totalmente válidos.

### 4.3. APLICACIÓN DEL MODELO

Ahora se procede a mostrar cómo se ha llevado a cabo la aplicación del modelo de evaluación propuesto, modelo BioUnivDH, en los diferentes casos de estudio; indicando también cuáles han sido los datos que se han tenido que recoger para poder rellenar el cuestionario de valoración.

La aplicación del modelo es relativamente sencilla, ya que una vez que el mismo ha sido implantando y desarrollado, actúa como una máquina que solo pide una serie de entradas y proporciona unas salidas. Esta máquina tiene interiorizada todos los aspectos que se han comentado en la metodología e interactúa con la persona que pretende desarrollar la evaluación a través de una interfaz que no es otra que el cuestionario de valoración.

El primer paso que hay que realizar, como en cualquier tipo de proyecto, es evaluar el entorno en el que se encuentra el mismo y hacer unas evaluaciones iniciales de la viabilidad del mismo, de forma de que si los resultados obtenidos son muy negativos, se podría descartar rápidamente su ejecución.

Todas estas actividades necesarias se pueden englobar en lo que la metodología llama estudios previos. En él será necesario estudiar los factores específicos que se encuentran relacionados con la localización que posee el proyecto, el marco regulatorio que afecta al mismo, búsqueda de posibles inversores (si es necesario) y estudio de todos los agentes interesados en el proyecto.

Cuando se habla de interesados, se refiere a todos aquellos agente a los que les afecta la ejecución del proyecto, ya sea de forma positiva o negativa. Habrá que evaluar los requerimientos que posee cada uno de ellos y enfrentarlos, ya que muchas veces pueden ser incompatibles. Habrá por tanto que tomar numerosas decisiones y jerarquizar los intereses de cada uno. Este paso es largo y tedioso, pero es vital para poder



entender en qué estado se encuentra el proyecto y poder ejecutarlo de forma correcta; además, no se puede aplicar el modelo propuesto sin tener esta información bien clara.

Otro estudio previo que es necesario realizar, debido a que el combustible empleado es biomasa forestal o agrícola de la zona, será el análisis de la situación que posee la gestión de los montes locales. Será importante conocer quiénes son los encargados de la organización, explotación, tratamiento y distribución de los montes y la biomasa. Como ya se ha comentado, la biomasa es un combustible bastante especial, por lo que hay que ejecutar una serie de tareas y comprobaciones que tal vez no son tan comunes en los proyectos.

Con todos los datos necesarios recopilados, se procede a rellenar el cuestionario de valoración, que es la interfaz que posee el modelo BioUnivDH. En este trabajo, tanto el marco matemático como la interfaz se han desarrollado en una macro de Excel, pero cada evaluador tiene la libertad de utilizar el programa de cálculo que considere necesario.

En cada pregunta se muestra cuáles son los agentes implicados en la respuesta de la misma, por eso adjunta la Tabla 4-2 que es la leyenda que se ha seguido para nombrar a los diferentes agentes.

Tabla 4-2 Leyenda agentes implicados

Siglas	Agente
GM	Gestor del Monte
TR	Titulares del Recurso
ESB	Empresas Suministradoras de Biomasa
GMA	Gestor Medioambiental
A	Ayuntamiento
U	Usuarios
P	Promotor
EF	Entidades Financieras
CA	Cooperativas Agrícolas

Se presenta de forma conjunta el cuestionario respondido para cada uno de los casos de estudio propuestos, ya que las preguntas son las mismas para todos los casos. Después la evaluación de los resultados sí se realizará por separado, para tener una mayor comprensión de los mismos.

Pregunta 1	Respuesta 1
¿Existe un Plan de Aprovechamientos destinado a BioDH con los titulares de los recursos?	Porcentaje de biomasa en estos planes respecto al total de la demanda
	Caso 1      100%
	Caso 2      0%
	Caso 3      10%
	Caso 4      100%
Agentes Implicados: GM-TR	
Pregunta 2	Respuesta 2
¿Cuántos años va a tener la biomasa forestal un precio estable?	Indicar los años estimados
	Caso 1      10

Agentes Implicados: GM-P	Caso 2	0
	Caso 3	0
	Caso 4	5

Pregunta 3	Respuesta 3
¿Existe un Plan de Aprovechamientos en montes de usuarios?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1      Sí
Agentes Implicados: GM-U	Caso 2      No
	Caso 3      No
	Caso 4      No

Pregunta 4	Respuesta 4
¿Existe un Convenio de Aprovechamientos entre el gestor del monte y el promotor?	Porcentaje de biomasa en estos planes respecto al total de la demanda
	Caso 1      100%
Agentes Implicados: GM-P	Caso 2      0%
	Caso 3      0%
	Caso 4      100%

Pregunta 5	Respuesta 5
¿Los titulares de los aprovechamientos están organizados por el ayuntamiento?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1      Sí
Agentes Implicados: TR-A	Caso 2      No
	Caso 3      No
	Caso 4      No

Pregunta 6	Respuesta 6
¿Existe un Convenio de Cesión de Aprovechamientos entre el promotor y los titulares de los recursos?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1      Sí
Agentes Implicados: TR-P	Caso 2      No
	Caso 3      No
	Caso 4      No

Pregunta 7	Respuesta 7	
¿Existe un mercado local de empresas comercializadoras de biomasa?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	Sí
Agentes Implicados: ESB-GM-TR-GMA	Caso 2	Sí
	Caso 3	Sí
	Caso 4	No

Pregunta 8	Respuesta 8	
¿Las empresas comercializadoras de biomasa garantizan un precio estable de la misma?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	No
Agentes Implicados: ESB-P-EF	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	No

Pregunta 9	Respuesta 9	
¿Las empresas comercializadoras de biomasa garantizan el suministro a lo largo de los años?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	Sí
Agentes Implicados: ESB-P-EF	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	No

Pregunta 10	Respuesta 10	
¿Se están cumpliendo en la zona los planes de ordenación del monte?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	No
Agentes Implicados: GMA-GM	Caso 2	Sí
	Caso 3	No
	Caso 4	No

Pregunta 11	Respuesta 11	
-------------	--------------	--

¿Existe normativa medioambiental sobre emisiones, ruido, etc., para la implantación de centrales de DH en cascos urbanos?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	No
	<b>Agentes Implicados: GMA-A-P</b>	
	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	No

<b>Pregunta 12</b>	<b>Respuesta 12</b>	
¿Existe una problemática de emisiones en el municipio?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	No
	<b>Agentes Implicados: GMA-U</b>	
	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	No

<b>Pregunta 13</b>	<b>Respuesta 13</b>	
¿Existen ayudas sobre los derechos de emisión?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	Sí
	<b>Agentes Implicados: GMA-EF</b>	
	Caso 2	Sí
	Caso 3	Sí
	Caso 4	Sí

<b>Pregunta 14</b>	<b>Respuesta 14</b>	
¿Existe un Plan de Eliminación de Restos Agrícolas?	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	No
	<b>Agentes Implicados: GMA-CA</b>	
	Caso 2	Sí
	Caso 3	Sí
	Caso 4	No

<b>Pregunta 15</b>	<b>Respuesta 15</b>
¿Existe un Plan de Aprovechamiento en montes municipales?	Elegir en la Lista Despegable

	Caso 1	Sí
Agentes Implicados: A-GM	Caso 2	Sí
	Caso 3	Sí
	Caso 4	Sí

Pregunta 16	Respuesta 16
¿El ayuntamiento realiza alguna Bonificación del IBI a los usuarios de la red?	Indicar el Porcentaje de Bonificación
	Caso 1 95%
Agentes Implicados: A-U	Caso 2 95%
	Caso 3 95%
	Caso 4 95%

Pregunta 17	Respuesta 17
¿Hay edificios municipales conectados al BioDH?	Porcentaje de la demanda total debida a edificios públicos
	Caso 1 15%
Agentes Implicados: A-P	Caso 2 5%
	Caso 3 20%
	Caso 4 8%

Pregunta 18	Respuesta 18
¿El BioDH ha sido declarado de Utilidad Pública? ¿Se Bonifica el ICIO?	Indicar el Porcentaje de Bonificación
	Caso 1 95%
Agentes Implicados: A-P	Caso 2 0%
	Caso 3 95%
	Caso 4 95%

Pregunta 19	Respuesta 19
¿El ayuntamiento ha realizado alguna cesión de suelos?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1 No
Agentes Implicados: A-P	Caso 2 Sí

Caso 3	Sí
Caso 4	No

<b>Pregunta 20</b>	<b>Respuesta 20</b>								
¿Existe un canon por ocupación del suelo público por parte de la red?	Elegir en la Lista Despegable								
Agentes Implicados: A-P	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>Sí</td> </tr> </table>	Caso 1	Sí	Caso 2	Sí	Caso 3	Sí	Caso 4	Sí
Caso 1	Sí								
Caso 2	Sí								
Caso 3	Sí								
Caso 4	Sí								

<b>Pregunta 21</b>	<b>Respuesta 21</b>								
¿Existe una norma local que permita la implantación de centrales DH en suelo urbano?	Elegir en la Lista Despegable								
Agentes Implicados: A-P	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>No</td> </tr> </table>	Caso 1	No	Caso 2	No	Caso 3	No	Caso 4	No
Caso 1	No								
Caso 2	No								
Caso 3	No								
Caso 4	No								

<b>Pregunta 22</b>	<b>Respuesta 22</b>								
¿Cuál es la duración de los contratos de los edificios públicos conectados a la red?	AÑOS								
Agentes Implicados: A-EF	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>5</td> </tr> </table>	Caso 1	1	Caso 2	1	Caso 3	5	Caso 4	5
Caso 1	1								
Caso 2	1								
Caso 3	5								
Caso 4	5								

<b>Pregunta 23</b>	<b>Respuesta 23</b>								
¿El ayuntamiento ha Bonificado el IAE a las cooperativas agrícolas que proveen biomasa a la red?	Indicar el Porcentaje de Bonificación								
Agentes Implicados: A-CA	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>0%</td> </tr> </table>	Caso 1	0%	Caso 2	0%	Caso 3	0%	Caso 4	0%
Caso 1	0%								
Caso 2	0%								
Caso 3	0%								
Caso 4	0%								

Pregunta 24	Respuesta 24	
¿Qué densidad de demanda tiene la red?  Agentes Implicados: U-P	Indicar el Valor de la Densidad Lineal de Calor (MWh/m)	
	Caso 1	231
	Caso 2	193
	Caso 3	122
	Caso 4	268

Pregunta 25	Respuesta 25	
¿Qué grado de Aceptación del BioDH poseen los Usuarios?  Agentes Implicados: U-P	Indicar Porcentaje de Usuarios que lo Aceptan	
	Caso 1	80%
	Caso 2	70%
	Caso 3	76%
	Caso 4	92%

Pregunta 26	Respuesta 26	
¿Cuál es la duración media de los contratos con los usuarios?  Agentes Implicados: U-P	Especificar el valor en Años	
	Caso 1	1
	Caso 2	1
	Caso 3	1
	Caso 4	1

Pregunta 27	Respuesta 27	
¿Los usuarios de la red ceden recursos forestales por un descuento en la calefacción?  Agentes Implicados: U-P	Elegir en la Lista Despegable	
	Caso 1	Sí
	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	No

Pregunta 28	Respuesta 28	
¿Los usuarios de la red ceden recursos agrícolas por un	Elegir en la Lista Despegable	

descuento en la calefacción?		
	Caso 1	No
Agentes Implicados: U-P	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	Sí

Pregunta 29	Respuesta 29
¿Están garantizados los ingresos que poseen los titulares de los recursos forestales?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1      Sí
Agentes Implicados: P-TR	Caso 2      No
	Caso 3      No
	Caso 4      No

Pregunta 30	Respuesta 30
¿Existe un contrato a largo plazo entre las empresas comercializadoras de biomasa y el promotor?	Indicar los años de duración del contrato
	Caso 1      5
Agentes Implicados: GM-ESB	Caso 2      0
	Caso 3      0
	Caso 4      0

Pregunta 31	Respuesta 31
¿Proporciona en el municipio una imagen de progreso y modernidad la red District Heating?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1      Sí
Agentes Implicados: P-A	Caso 2      Sí
	Caso 3      Sí
	Caso 4      Sí

Pregunta 32	Respuesta 32
¿Los edificios públicos son de cero emisiones en el ámbito de energía térmica?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1      Sí
Agentes Implicados: P-A	Caso 2      Sí



Caso 3	Sí
Caso 4	Sí

<b>Pregunta 33</b>	<b>Respuesta 33</b>								
¿Hay algún descuento para los usuarios del BioDH respecto al sistema anterior que usaban?	Indicar el Porcentaje de Descuento								
Agentes Implicados: P-U	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>20%</td> </tr> </table>	Caso 1	25%	Caso 2	20%	Caso 3	20%	Caso 4	20%
Caso 1	25%								
Caso 2	20%								
Caso 3	20%								
Caso 4	20%								

<b>Pregunta 34</b>	<b>Respuesta 34</b>								
¿Se financian los equipos individuales de las instalaciones?	Elegir en la Lista Despegable								
Agentes Implicados: P-U	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>Sí</td> </tr> </table>	Caso 1	Sí	Caso 2	Sí	Caso 3	Sí	Caso 4	Sí
Caso 1	Sí								
Caso 2	Sí								
Caso 3	Sí								
Caso 4	Sí								

<b>Pregunta 35</b>	<b>Respuesta 35</b>								
¿Están garantizados los ingresos de las cooperativas agrícolas?	Elegir en la Lista Despegable								
Agentes Implicados: P-CA	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>Sí</td> </tr> </table>	Caso 1	No	Caso 2	No	Caso 3	No	Caso 4	Sí
Caso 1	No								
Caso 2	No								
Caso 3	No								
Caso 4	Sí								

<b>Pregunta 36</b>	<b>Respuesta 36</b>								
¿La financiación es sin recurso de accionista?	Elegir en la Lista Despegable								
Agentes Implicados: EF-P	<table border="1"> <tr> <td>Caso 1</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 2</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 3</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Caso 4</td> <td>No</td> </tr> </table>	Caso 1	No	Caso 2	No	Caso 3	No	Caso 4	No
Caso 1	No								
Caso 2	No								
Caso 3	No								
Caso 4	No								

Pregunta 37	Respuesta 37
¿El plazo de financiación es superior a 15 años?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1 No
Agentes Implicados: EF-P	Caso 2 No
	Caso 3 No
	Caso 4 No

Pregunta 38	Respuesta 38
¿Qué Carencia tiene la financiación?	Especificar el valor de Carencia
	Caso 1 1
Agentes Implicados: EF-P	Caso 2 1
	Caso 3 1
	Caso 4 1

Pregunta 39	Respuesta 39
¿Qué nivel de Apalancamiento se produce con la financiación?	Indicar nivel de Apalancamiento
	Caso 1 70%
Agentes Implicados: EF-P	Caso 2 70%
	Caso 3 70%
	Caso 4 70%

Pregunta 40	Respuesta 40
¿Se posee Garantía de Recurso en la financiación?	Elegir en la Lista Despegable
	Caso 1 Sí
Agentes Implicados: EF-P	Caso 2 Sí
	Caso 3 Sí
	Caso 4 Sí

Pregunta 41	Respuesta 41
¿Existe un Contrato de Suministro con las compañías	Elegir en la Lista Despegable

agrícolas?		
	Caso 1	No
Agentes Implicados: CA-P	Caso 2	No
	Caso 3	No
	Caso 4	No

Pregunta 42	Respuesta 42
¿Cuál es el plazo en los contratos con las compañías agrícolas?	Especificar los Años
	Caso 1      0
Agentes Implicados: CA-P	Caso 2      0
	Caso 3      0
	Caso 4      0

Pregunta 43	Respuesta 43
¿Cuánto tiempo se mantiene estable el precio de la biomasa agrícola?	Indicar el Número de Años
	Caso 1      0
Agentes Implicados: CA-P	Caso 2      0
	Caso 3      0
	Caso 4      0

Pregunta 44	Respuesta 44
¿Qué Volumen de Biomasa Agrícola se tiene la para la red?	Porcentaje de Biomasa Agrícola respecto al total que se requiere
	Caso 1      0%
Agentes Implicados: CA-P	Caso 2      0%
	Caso 3      0%
	Caso 4      20%

#### 4.4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos de aplicar el modelo BioUnivDH a cada caso de estudio se mostrarán uno a uno por separados, para tener una comprensión más precisa.

### 4.4.1 Caso 1

Primero se presentan los resultados generales y globales. Estos son el Indicador Global de Sostenibilidad y los niveles de influencia e interés de los diferentes agentes; se pueden ver en la Figura 4-1, Figura 4-2 y Figura 4-3, donde aparecen unos gráficos radiales para que la evaluación sea lo más visual posible.

Primero se procederá a interpretar los resultados y a realizar una valoración aislada del caso de estudio, posteriormente se intentarán localizar los puntos fuertes y débiles del sistema para localizar posibles mejoras en la sostenibilidad del mismo.

Indicador Global de Sostenibilidad del Sistema	68.4%
¿Participa Alguna Cooperativa Agrícola?	No

Figura 4-1 Indicador global de sostenibilidad del caso 1

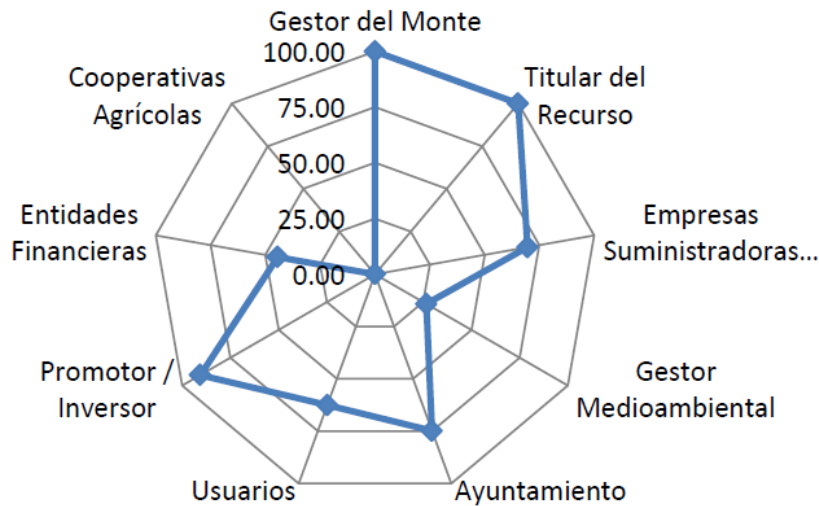


Figura 4-2 Gráfico influencia de los agentes del caso 1

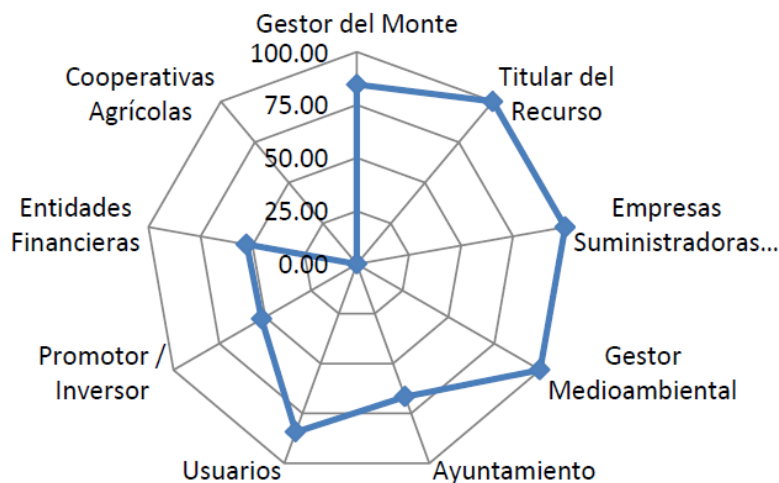


Figura 4-3 Gráfico interés de los agentes del caso 1

Esta red de calefacción con biomasa de estudio tiene un Indicador Global de Sostenibilidad del 68.4%, valor que en principio parece bastante aceptable, pero que habrá que compararlo con otras alternativas para ver si es un valor realmente bueno. La aceptación o no del nivel que alcance este indicador dependerá de en qué valores se mueva habitualmente el mismo en los diferentes proyectos.

Si el valor medio se encuentra por debajo de este valor, pues sí que el caso de estudio posee una sostenibilidad buena. Por ello, este valor será más interesante en el apartado siguiente donde se van a comparar las diferentes alternativas.

Como se puede ver, en este proyecto no entran en juego ninguna cooperativa agrícola, por lo que tanto la influencia como interés de las mismas será lógicamente nulas, situación que no penaliza a los resultados globales de sostenibilidad del sistema, ya que es simplemente un agente que no existe.

Si se analiza la Figura 4-2, se puede ver que los agentes con mayor influencia dentro del mismo, son el gestor del monte y los titulares de los recursos, es decir son aquellos que más están favoreciendo la posible implantación de la red dentro de sus posibilidades. En este caso, como ambos tienen un nivel de 100, significan que han hecho todo lo que estaba en sus manos para promover la sostenibilidad del proyecto.

Esto no significa que hayan trabajado más ni que hayan ejecutado más actividades a favor que el promotor, por ejemplo. Son siempre valores relativos, en función de las posibilidades que tiene cada uno de los agentes de participar dentro del conjunto del proyecto.

Si se ve cuál de los agentes es el que posee menor nivel de influencia, se comprueba que es el gestor medioambiental. Si se quieren analizar los motivos de esta situación habrá que acudir a los factores de sostenibilidad que afecta a la influencia de este agente.

En este caso, los factores de sostenibilidad que no se están cumpliendo y están penalizando a las posibles ventajas que este agente podría establecer en el proyecto son:

- No se están cumpliendo en la zona con los planes de ordenación del monte.
- No existe normativa ambiental sobre emisiones, ruido, etc., para la implantación de centrales en suelo urbano.

Una vez que se han localizado los déficits que se dan en la influencia que posee ese agente, que es el más débil, se pueden intentar tomar las medidas necesarias para potenciar esos factores de sostenibilidad.

Por otro lado, desde el punto de vista del interés que supone el proyecto para los diferentes agentes, se comprueba, a partir de la Figura 4-3, que para casi todos los agentes el proyecto es muy rentable, exceptuando los casos de las entidades financieras y el promotor que poseen un nivel inferior, aunque aceptable.

Es curioso analizar el caso del gestor medioambiental, que como se acaba de ver es el que menos pone de su parte en el proyecto y sin embargo, posee un nivel de interés en el mismo de 100, que es el valor máximo, en función de los factores de sostenibilidad establecidos en este trabajo.

Al igual que antes, hay que acudir a los factores de sostenibilidad para analizar los motivos por los que el interés del promotor y las entidades financieras es menor que el resto. En el caso del promotor se tiene:

- El precio que ofrecen las compañías suministradoras de biomasa forestal no nada estable.
- No existe normativa ambiental para llevar a cabo la implantación de centrales de district heating en suelos urbanos.
- El ayuntamiento no ha cedido suelos para implantar la central de generación.
- El ayuntamiento no ha bonificado el canon por ocupación de suelo público.
- La financiación es con recurso de accionista.
- El plazo de financiación no es superior a 15 años.

Analizando a las entidades financieras:

- El precio que ofrecen las compañías suministradoras de biomasa forestal no nada estable.
- La demanda de los edificios municipales respecto al total existente es baja.
- La duración de los contratos de los edificios públicos conectados es baja, por lo que no proporciona la seguridad necesaria.

Si se desea un análisis más profundo, se puede ver la relación, una a una, que posee cada agente con el resto de ellos, siempre que exista algún tipo de conexión (hay agentes que no tiene sentido que exista una relación entre ellos). Todas las relaciones existentes se pueden apreciar los gráficos radiales de la Figura 4-4.

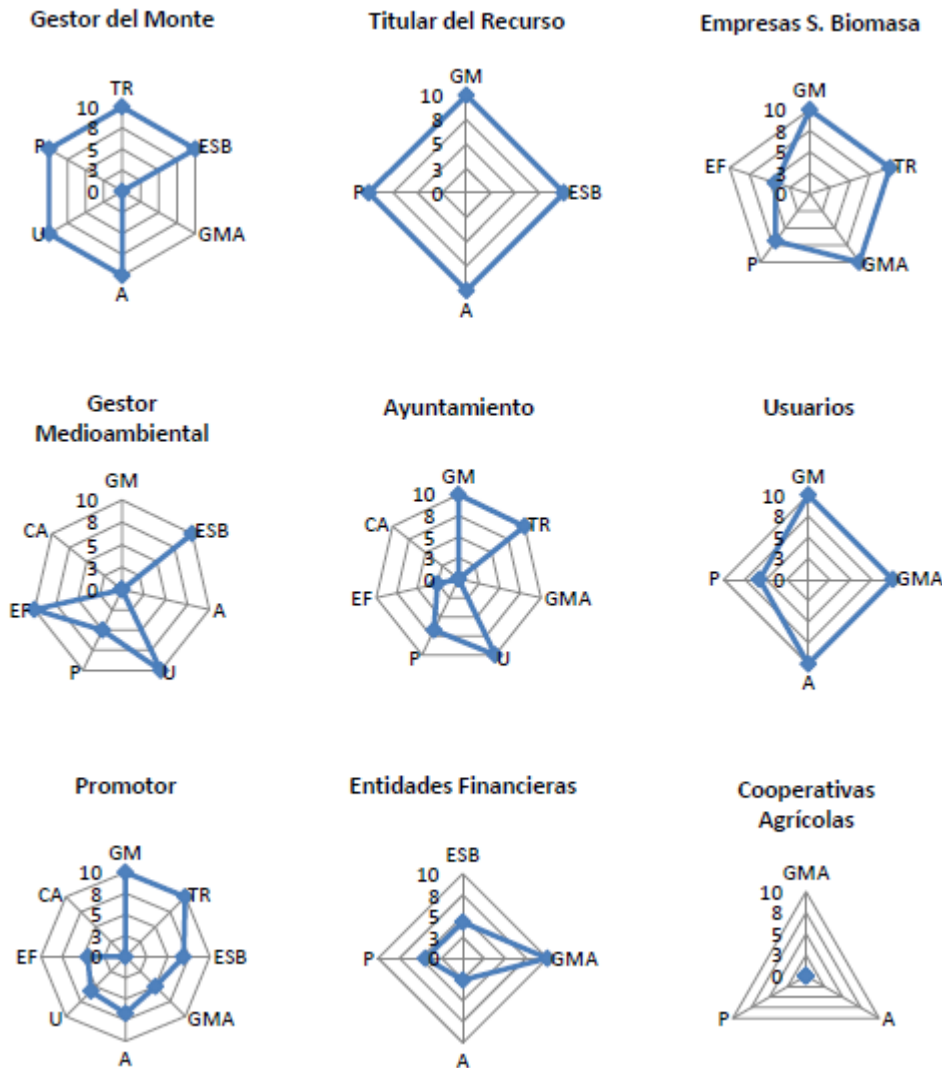


Figura 4-4 Gráficos niveles de relación entre agentes del caso 1

Como se pueden evaluar de forma precisa qué agentes podrían tener una cierta relación entre ellos y sin embargo, no la tienen, es posible localizar de forma visual qué relaciones son las que son más débiles en dentro del sistema en su conjunto.

Una vez que se han localizado las debilidades, se pueden tomar las medidas necesarias para potenciarlas y conseguir así mejorar el nivel de sostenibilidad del sistema. Es decir, se consigue aumentar la sostenibilidad del conjunto fortaleciendo aquellas relaciones tangibles entre dos agentes que son más débiles. Esta la base fundamental del modelo BioUnivDH, mejorar el conjunto a partir de hechos concretos, y a exponiendo estos casos de estudio, se está demostrando su potencial.

#### 4.4.2 Caso 2

Se procede a presentar el siguiente caso de estudio, donde ya se podrá comprobar los diferentes resultados que arroja la aplicación del modelo en función del tipo de proyecto que se trate.

En la Figura 4-5, Figura 4-6 y Figura 4-7 se muestran los resultados principales de la sostenibilidad de la red de calefacción y los niveles de influencia e interés de los diferentes agentes dentro del sistema de estudio.

Indicador Global de Sostenibilidad del Sistema	34.1%
¿Participa Alguna Cooperativa Agrícola?	No

Figura 4-5 Indicador global de sostenibilidad del caso 2

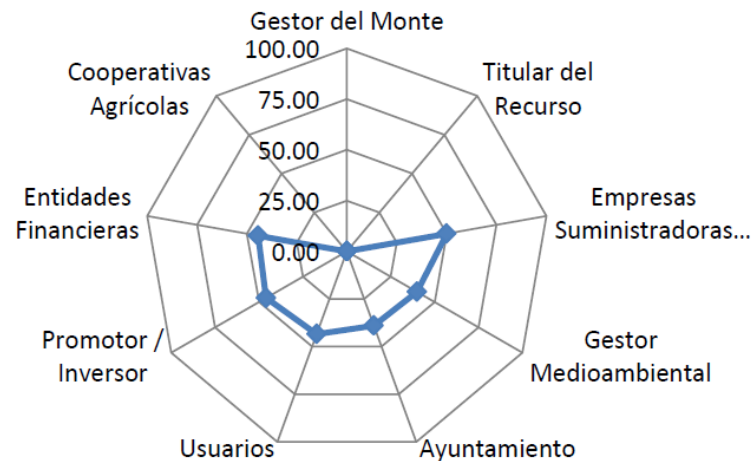


Figura 4-6 Gráfico influencia de los agentes del caso 2

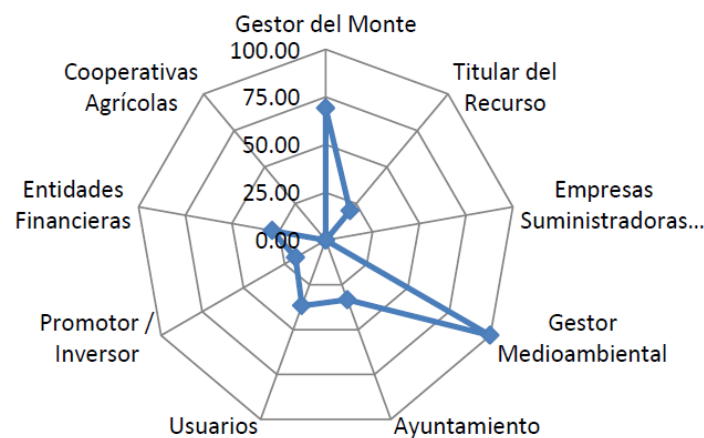


Figura 4-7 Gráfico interés de los agentes del caso 2

En esta red tampoco participa ningún tipo de cooperativas agrícolas por lo que los resultados mostrados referidos a las mismas son nulos, sin perjudicar a la sostenibilidad del sistema por esa situación.

El modelo muestra que el indicador global de sostenibilidad es de un 34.1%, valor que parece bastante bajo, aunque habrá que compararlo posteriormente con las otras alternativas que se presentan.

Para analizar los motivos por los que se tiene ese valor, habrá que acudir a los gráficos radiales de influencia e interés de los agentes. Respecto a la Figura 4-6, se puede comprobar que más o menos todos los agentes poseen el mismo nivel de influencia, aunque alcancen valores bajos; sin embargo el gestor del monte y los titulares de los recursos tienen el nivel a cero.

Si se acude a los factores de sostenibilidad implicados, se pueden encontrar los motivos por los que se tiene esta situación. En el caso del gestor del monte se tiene lo siguiente:

- No existe ningún plan de aprovechamientos destinados a BioUnivDH con los titulares del recurso.
- No hay ningún tipo de plan de aprovechamientos con los usuarios de la red.

- Tampoco hay un convenio aprovechamientos para la zona con el promotor.
- No garantiza ninguna estabilidad en el precio de la biomasa.

En el caso de los titulares de los recursos:

- No tienen ningún tipo de convenio con el promotor para la cesión de sus aprovechamientos.
- No están organizados entre ellos, con un representante común, para poder tratar con el ayuntamiento y el promotor de forma más eficiente.

Una vez localizado los déficits se pueden atacar estas debilidades mayores del sistema, para poder intentar, si es posible, mejorar la sostenibilidad global del conjunto, tanto en su aspecto medioambiental, social y económico.

Si se analiza el interés de los distintos agentes, con la Figura 4-7, se puede ver de forma visual que existe un gran desequilibrio entre ellos. Se tiene por un lado que el gestor medioambiental o el gestor del monte poseen unos niveles muy altos de interés y por otro lado, las empresas suministradoras de biomasa, el promotor o los titulares de los recursos tienen unos niveles casi nulos.

Estos desequilibrios entre agentes no suele ser casi nunca un buen indicador de la estabilidad de los sistemas, ya que muestra que los intereses y el poder entre los agentes no se encuentran bien distribuidos.

Si se analiza el caso de las empresas suministradoras de biomasa se encuentra el siguiente problema principal:

- La duración de los contratos de suministro con el promotor es muy baja, por lo que no les asegura que la red de calefacción les proporcione algún tipo de seguridad o estabilidad económica en sus ingresos.

El promotor tiene también un nivel bajo de interés y según los factores de sostenibilidad, puede deberse a los siguientes motivos:

- No existe ningún tipo de convenios de aprovechamientos con el gestor del monte.
- No hay convenios de cesión de aprovechamientos con los titulares de los recursos.
- No tiene garantías de que la biomasa posea un precio estable.
- No tiene seguridad en el suministro de la biomasa por parte de las compañías suministradoras de biomasa.
- No existe normativa para poder aplicar a las centrales de district heating en suelos urbanos.
- El ayuntamiento no bonifica ni el ICIO ni el cobro por ocupación de suelo público por parte de la red.
- Las condiciones de financiación no son demasiado buenas.

Viendo la cantidad de situaciones no favorables que se están dando en este caso de estudio, se está demostrando el motivo por el que el indicador global de sostenibilidad del sistema es tan bajo.

A continuación, en la Figura 4-8, se presentan los gráficos radiales de las relaciones entre los distintos agentes.



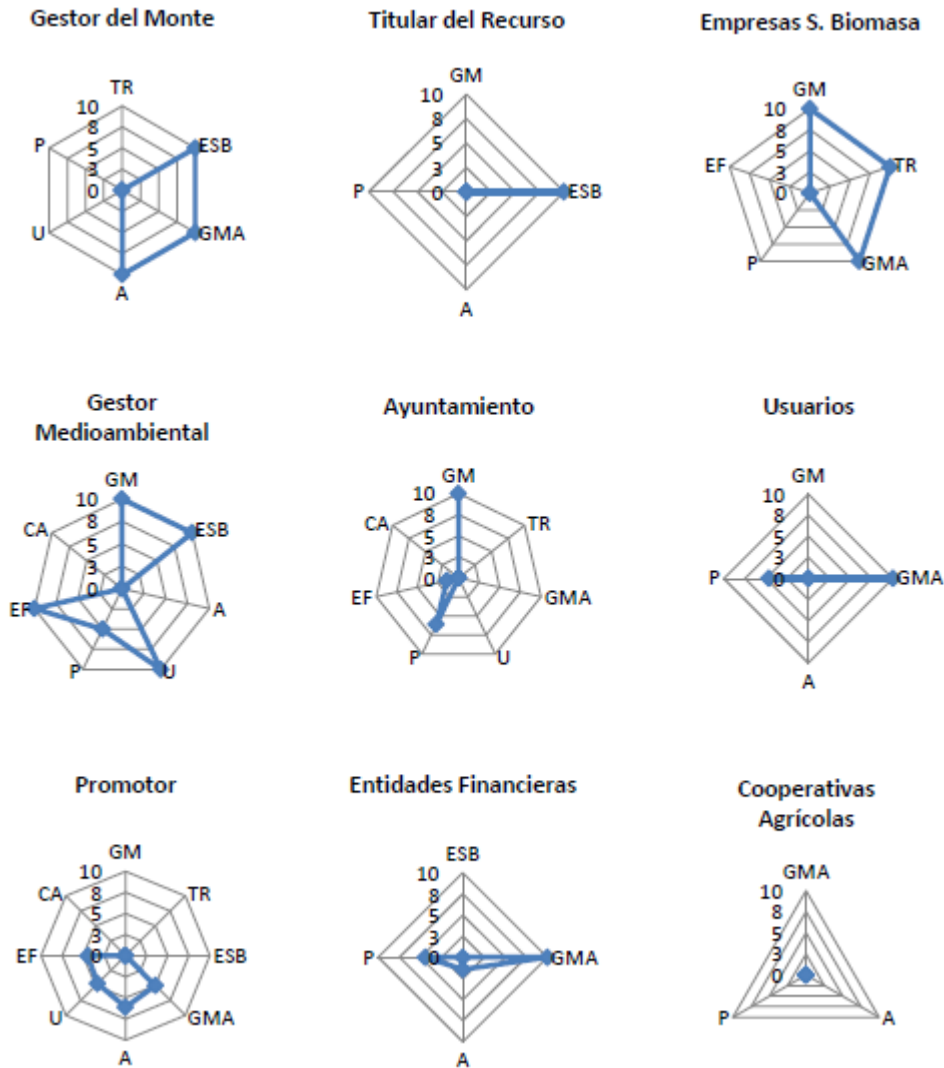


Figura 4-8 Gráficos niveles de relación entre agentes del caso 2

Como se puede comprobar, hay agentes que poseen una relación casi nula con el resto de ellos, esto supone que ese agente está aislado por algún motivo del sistema y no participa en él. Puede deberse a que no está lo suficientemente informado o porque muestra un desinterés por el mismo.

Estos gráficos también ayudan a saber sobre qué agente es más interesante focalizar los esfuerzos para conseguir aumentar la sostenibilidad de la red de calefacción de biomasa.

### 4.4.3 Caso 3

En la Figura 4-9, Figura 4-10 y Figura 4-11, se muestran los resultados generales que proporciona el modelo al aplicarlo a este caso de estudio ubicado en Albacete.

Indicador Global de Sostenibilidad del Sistema	42.5%
¿Participa Alguna Cooperativa Agrícola?	No

Figura 4-9 Indicador global de sostenibilidad del caso 3

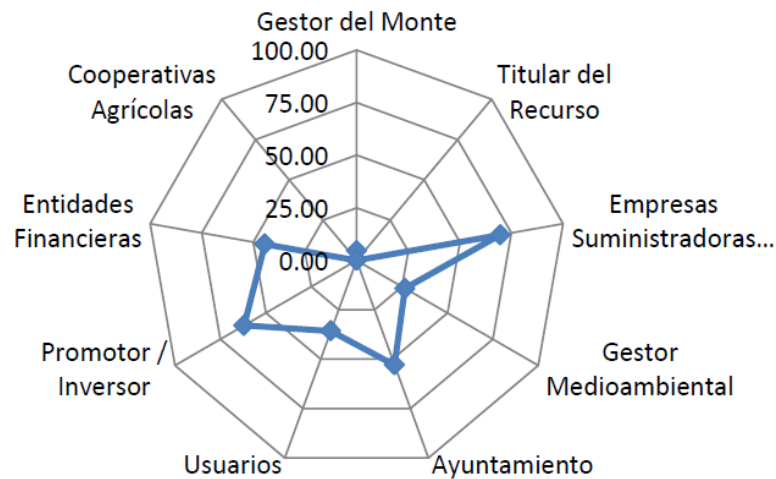


Figura 4-10 Gráfico de influencia de los agentes del caso 3

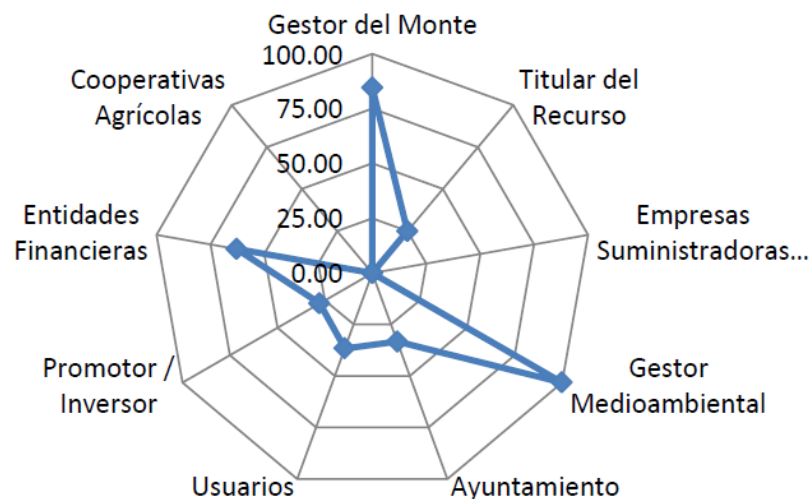


Figura 4-11 Gráfico interés de los agentes del caso 3

El indicador global de sostenibilidad de este sistema es de 42.5%, valor que compararemos después de forma más profunda con el resto de alternativas. Por otro lado, siguen sin participar ninguna cooperativa agrícola en esta red de calefacción de biomasa agrícola, hecho que no penaliza a los resultados de sostenibilidad del sistema.

Si se acude a la Figura 4-10, se observa de forma visual que en este caso, las empresas suministradoras de biomasa poseen una influencia importante en el proyecto, favoreciendo así su estabilidad. En caso contrario, los agentes con menor influencia vuelven a ser el gestor del monte y los titulares de los recursos.

Acudiendo a los factores de sostenibilidad, se tienen las siguientes conclusiones para el gestor del monte:

- El plan de aprovechamientos destinados a BioUnivDH con los titulares del recurso, supone un porcentaje muy bajo de la demanda total del sistema.
- No hay ningún tipo de plan de aprovechamientos con los usuarios de la red.
- Tampoco hay un convenio aprovechamientos para la zona con el promotor.
- No garantiza ninguna estabilidad en el precio de la biomasa.

Desde el punto de vista de los titulares de los recursos se tiene:

- No tienen ningún tipo de convenio con el promotor para la cesión de sus aprovechamientos.

- No están organizados entre ellos, con un representante común, para poder tratar con el ayuntamiento y el promotor de forma más eficiente.

Si se estudia el interés que poseen los diferentes agentes, usando la Figura 4-11, se puede ver que los agentes con mayor interés en el sistema son el gestor medioambiental, el gestor del monte y las entidades financieras. Se vuelve a producir un gran desequilibrio entre los niveles de cada uno de los agentes, situación que no es positiva como ya se ha comentado.

Los agentes con un nivel menor en el sistema son las empresas suministradoras de biomasa, los titulares de los recursos y el ayuntamiento. Se vuelve a producir una situación curiosa y que se podría estudiar profundamente para buscar el motivo: el agente que mayor influencia posee en el sistema (empresas suministradoras de biomasa) es a la vez el que menor interés tiene en el mismo.

Analizando uno a uno los motivos se tiene para el caso de las empresas suministradoras de biomasa lo siguiente:

- La duración de los contratos de suministro con el promotor es muy baja, por lo que no les asegura que la red de calefacción les proporcione algún tipo de seguridad o estabilidad económica en sus ingresos.

Para los titulares de los recursos:

- El plan de aprovechamientos destinados a la red de calefacción con entre el gestor del monte y los titulares de los recursos supone un porcentaje muy bajo del total de la demanda.
- No se garantizan sus ventas de biomasa en la zona y por tanto, no se garantizan sus ingresos.
- No se realizan por parte del promotor ningún tipo de descuento por la cesión de los aprovechamientos de los titulares.

Para el ayuntamiento:

- Los titulares de los recursos no se encuentran bien organizados en la zona, por lo que no facilita la gestión de los mismos y la toma de decisiones.
- No existe ningún tipo de normativa ambiental que se pueda aplicar a las centrales de district heating que se implanten en su municipio.

En la Figura 4-12, se ven los niveles que poseen las relaciones existentes entre los diferentes agentes, siempre que exista relación de algún tipo posible entre ellos.

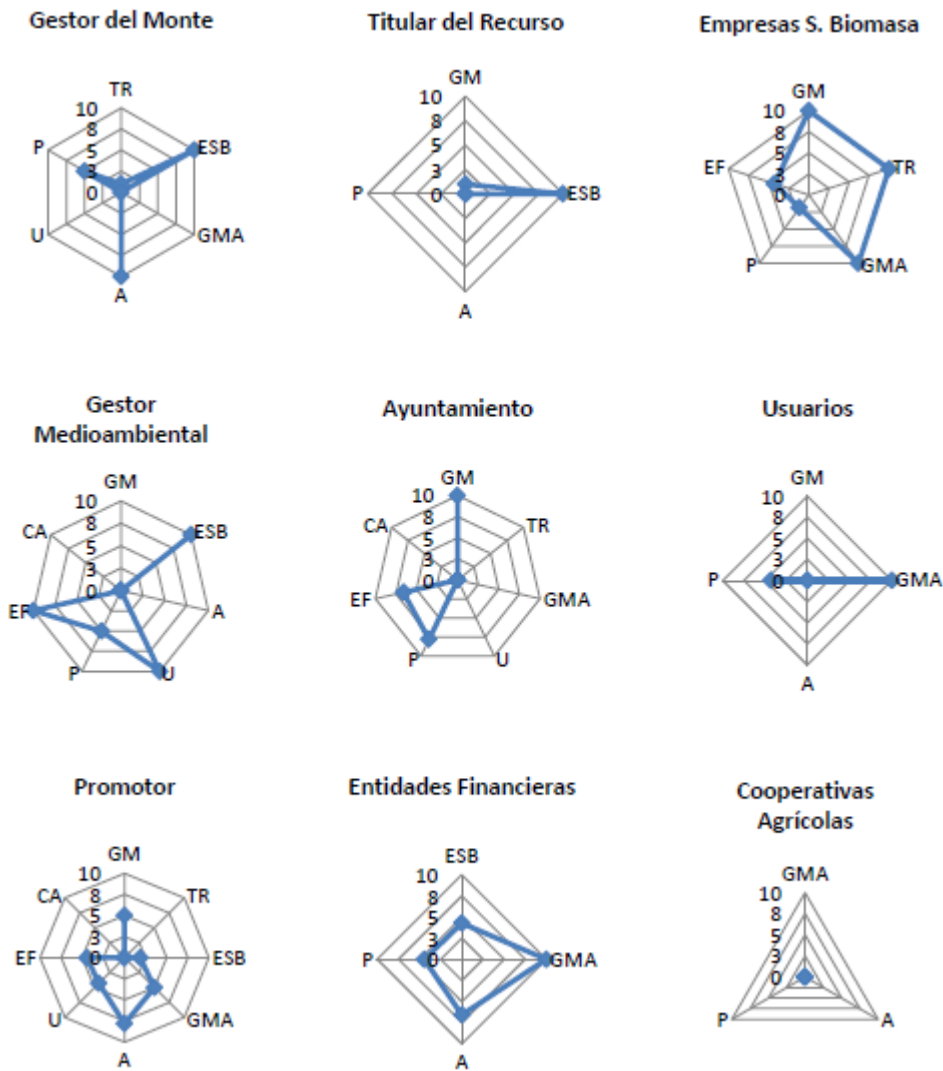


Figura 4-12 Gráficos niveles de relación entre agentes del caso 3

Se puede observar claramente que ningún agente posee una relación fuerte y estable con todos los agentes con los que trata, todo lo contrario, se aprecia que existe un desequilibrio bastante notable entre las relaciones que se producen; se producen combinaciones de relaciones muy sólidas con otras muy débiles dentro de un mismo agente.

#### 4.4.4 Caso 4

La última red de calefacción de estudio se encuentra ubicada en Jaén y posee un indicador de sostenibilidad global del sistema de un 42.9%, similar al caso anterior. En este sistema sí existe alguna cooperativa agrícola (el sistema usará biomasa forestal y agrícola), por lo que habrá otro agente más participando en el proyecto, influyendo en él, para conseguir beneficios o intereses. Por tanto, los resultados que se muestran en la Figura 4-13, Figura 4-14 y Figura 4-15, relacionados con ellas sí que son ahora de aplicación, no como en los casos anteriores.

Indicador Global de Sostenibilidad del Sistema	42.9%
¿Participa Alguna Cooperativa Agrícola?	Sí

Figura 4-13 Indicador global de sostenibilidad del caso 4

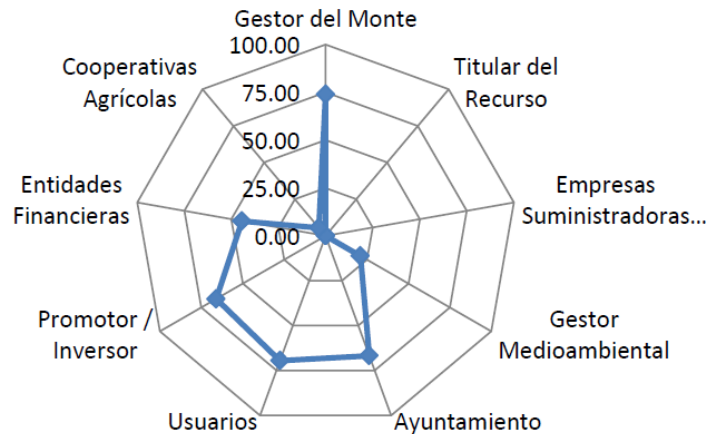


Figura 4-14 Gráfico influencia de los agentes del caso 4

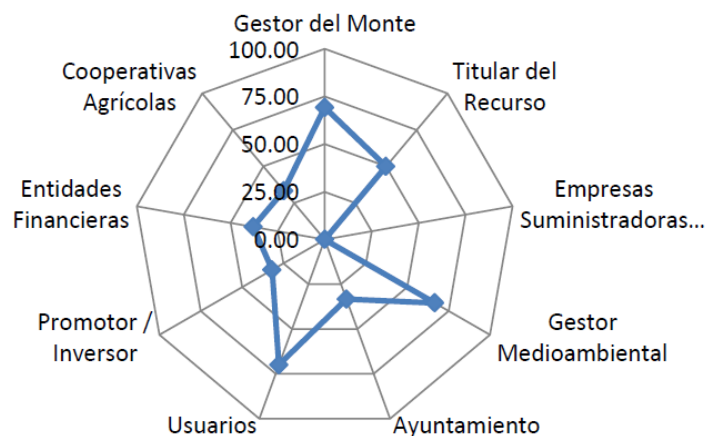


Figura 4-15 Gráfico de interés de los agentes del caso 4

Desde el punto de vista de la influencia, según la Figura 4-14, se puede ver que los agentes poseen niveles más o menos parejos, exceptuando los casos de las cooperativas agrícolas, los titulares de los recursos y las empresas suministradoras de biomasa.

Se procede a analizar, como en los casos anteriores, cuáles son los motivos por los que se tiene esta situación. En el caso de las cooperativas agrícolas:

- No existe ningún tipo de contrato de suministro entre las compañías agrícolas y el promotor.
- Por tanto, la duración que poseen esos contratos es nula y no proporciona ningún tipo de seguridad al promotor de la red de calefacción.
- El precio de la biomasa agrícola no se mantiene estable en ningún momento, por lo que no proporciona estabilidad en los costes del sistema.

Respecto a los titulares de los recursos:

- No tienen ningún tipo de convenio con el promotor para la cesión de sus aprovechamientos.
- No están organizados entre ellos, con un representante común, para poder tratar con el ayuntamiento y el promotor de forma más eficiente.

Desde el punto de vista de las empresas suministradoras de biomasa:

- No existe un mercado local estable de comercialización y suministro de biomasa.

- Por tanto, no se tiene garantía de suministro de biomasa para la red de calefacción por parte de las compañías y tampoco aseguran un precio estable de la misma a lo largo del periodo de operación.

Si se analiza el interés de los agentes, con la Figura 4-15, se comprueba que los agentes menos interesados son las empresas suministradoras de biomasa, el promotor y las cooperativas agrícolas.

Acudiendo a los factores de sostenibilidad que aplican a cada caso, se tiene que para las cooperativas agrícolas el proyecto no le es interesante debido a:

- No existe un plan de eliminación de residuos agrícolas establecido por el gestor medioambiental.
- El ayuntamiento no bonifica el IAE a aquellas cooperativas que suministran biomasa agrícola a la red.

A las empresas suministradoras de biomasa:

- La duración de los contratos de suministro con el promotor es muy baja, por lo que no les asegura que la red de calefacción les proporcione algún tipo de seguridad o estabilidad económica en sus ingresos.

El promotor cuenta con los siguientes problemas:

- No existe ningún convenio de cesión de aprovechamientos por parte de los titulares de los recursos.
- Las empresas suministradoras de biomasa no aseguran ni precio estable ni volumen necesario de biomasa.
- No existe normativa para la implantación de centrales de district heating en suelo urbano.
- No se cede parte del suelo público por parte del ayuntamiento para implantar la central.
- Y no se bonifica el canon que debe pagar el promotor por la ocupación del suelo público por parte de la red de calefacción.

En la Figura 4-16 se pueden ver las relaciones existentes entre los diferentes agentes.

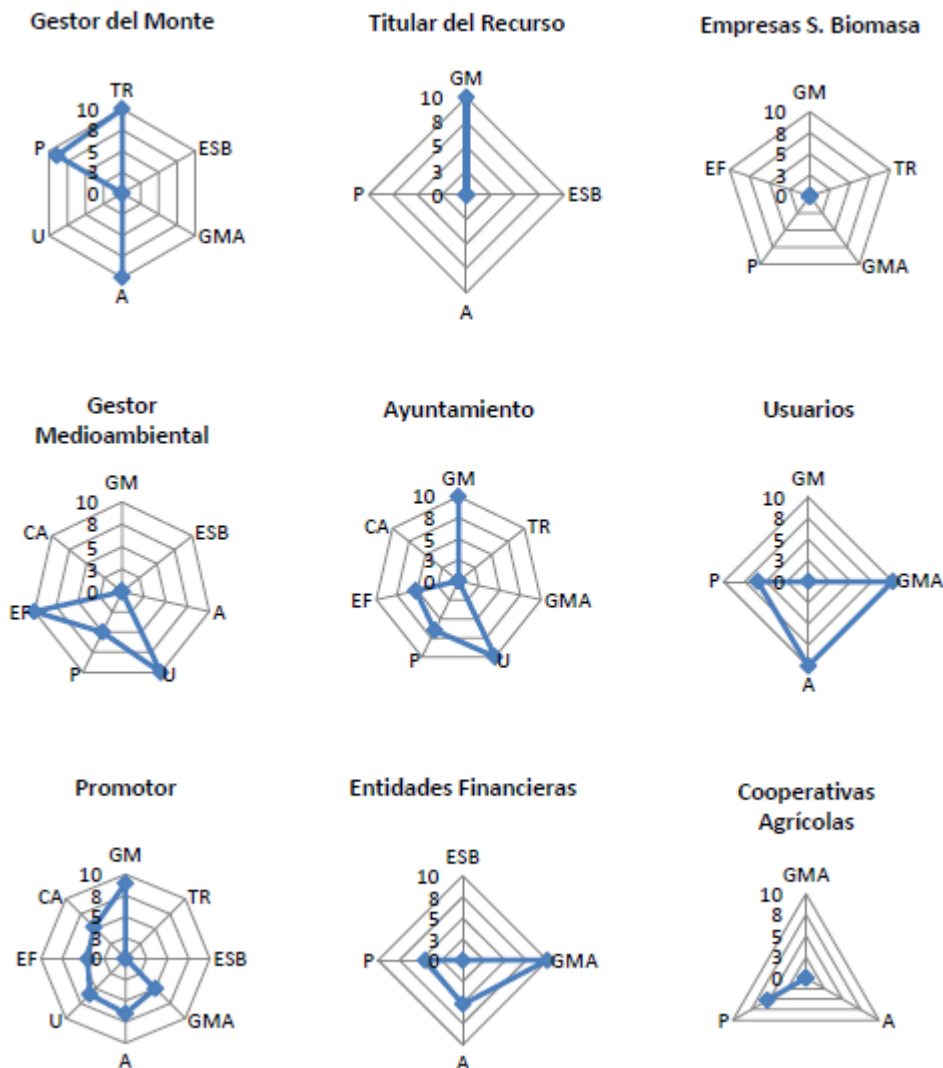


Figura 4-16 Gráfico niveles de relación entre agentes del caso 4

Se comprueba que hay algunos agentes, como los titulares de los recursos, las empresas suministradoras de biomasa y las cooperativas agrícolas, que poseen niveles de relación prácticamente nulos entre todos sus posibles cooperadores.

En el caso justamente de las empresas suministradoras, el nivel con todos es nulo, lo que supone que están aisladas completamente del sistema y no participan de ninguna forma en él. Como ya se ha comentado, esta situación puede ser debida a falta de información o a un desinterés total de las mismas por el proyecto y lo que suceda y suponga el mismo.

#### 4.5. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación se procede a realizar el enfrentamiento y comparación entre los resultados que ha arrojado la aplicación del modelo BioUnivDH a los cuatro casos de estudio.

Se compararán aquellos resultados más relevantes que son: Indicador de Sostenibilidad Global, Agente más y menos Influyente y Agente más y menos Interesado. El objetivo será comprobar que en cada caso se dan unas situaciones bastantes diferentes; aunque el indicador de sostenibilidad sea similar en un caso y en otro, los motivos pueden ser muy distintos.

Para realizar este proceso, se acude a la Tabla 4-3, dónde se muestran los principales resultados de cada uno de los casos de estudio.

Tabla 4-3 Comparación resultados de los casos de estudio

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Ubicación (Provincia)	Soria	Madrid	Albacete	Jaén
Indicador Sostenibilidad Global	68.4%	34.1%	42.5%	42.9%
Cooperativas Agrícolas	No Participan	No Participan	No Participan	Sí Participan
Agente Más Influyente	Gestor del Monte / Titulares de los Recursos	Empresas S. Biomasa	Empresas S. Biomasa	Gestor del Monte
Agente Menos Influyente	Gestor Medioambiental	Gestor del Monte / Titulares de los Recursos	Titulares de los Recursos	Titulares de los Recursos / Empresas S. Biomasa
Agente Más Interesado	Titulares de los Recursos / Empresas S. Biomasa / Gestor Medioambiental	Gestor Medioambiental	Gestor Medioambiental	Usuarios
Agente Menos Interesado	Promotor	Empresas S. Biomasa	Empresas S. Biomasa	Empresas S. Biomasa

El apartado de ubicación sirve simplemente para ubicar un poco dónde tiene lugar el caso de estudio y el de cooperativas agrícolas tiene la finalidad de indicar si ese agente está participando en la red de calefacción de biomasa de estudio o no.

Si comparamos el parámetro más general, el indicador de global de sostenibilidad, se puede realizar una primera jerarquización de las alternativas, de forma de que se tenga una primera visión de cuál de ellas es en su conjunto más sostenible desde el punto de vista medioambiental, social y económico. En principio, la que posee un valor mayor es la más interesante de llevar a cabo.

Sin embargo, este valor sólo proporcionar una idea amplia y habrá que acudir a estudiar cada sistema de forma más profunda. Por otro lado, sí que es cierto que si este indicador alcanza una diferencia bastante notable entre dos alternativas, difícilmente la que posee menor valor va a ser la más sostenible o la más interesante.

En los casos propuestos sucede algo así. El primer caso tiene un valor de indicador global de sostenibilidad de 68.4%, que es de un orden algo superior al resto de alternativas, por lo que es complicado, en principio, que esta alternativa no llegue a ser la mejor desde el punto de vista de sostenibilidad al menos.

Si esta diferencia es más notoria aún, como cuando que compara el caso 1 con el 2, este indicador muestra que la alternativa 2 es prácticamente descartable si se tiene la opción ejecutar la alternativa 1; al menos que se lleven a cabo acciones y propuestas de mejora sobre el caso 2 que consiga revertir esta situación.

Por otro lado, entre el caso 3 y 4 no hay apenas diferencia entre los valores de índice global de sostenibilidad que ha generado el modelo. En estas situaciones, no se puede decir que ningún modelo es mejor que otro y será necesario desarrollar un análisis más profundo, acción que se realizará posteriormente.



Una vez analizado esto, se puede pasar a nivel de agentes y ver qué situación se tiene en cada uno de los casos. Esta evaluación permitirá entre otras cosas, encontrar ciertas tendencias de comportamiento que poseen los agentes dentro de un área determinada de estudio, que en este caso será España, ya que todos los casos están ahí ubicados.

Si se focaliza en los agentes más influyentes se tiene que casi siempre, el gestor del monte y las empresas suministradoras de biomasa son los que más actos realizan (siempre dentro de las posibilidades que tienen de influir en el proyecto) a favor de la red de calefacción de biomasa. Aunque por otro lado, es cierto que no se puede considerar que estos hechos muestran una tendencia de algún tipo, ya que por ejemplo, en el caso 2, el gestor del monte es uno de los agentes menos influyente.

Cuando el gestor del monte es el agente más influyente supone que existen planes y convenios de aprovechamientos con los diferentes agentes, entre ellos el promotor. Si son las empresas suministradoras de biomasa las más influyentes, conlleva a que en la zona existe un mercado estable de comercialización de biomasa, de forma que asegura un precio estable de la biomasa durante cierto tiempo y asegura que su suministro está garantizado.

Entre los agentes menos influyentes los que se repiten en más ocasiones son los titulares de los recursos forestales. Esto supone a que en la mayoría de los casos, los titulares no han desarrollado ningún tipo de convenio de cesión de aprovechamiento con el promotor ni se han organizado de forma eficiente entre ellos para que las conversaciones y relaciones con otros agentes sean más productivas.

Analizando los agentes más interesados el gestor medioambiental es el que se repite más veces. Esto se debe principalmente a que es indudable que la red de calefacción mejora la eficiencia de la generación energía térmica en la zona, reduciendo a la vez el nivel de emisiones a la atmósfera y como está basada en biomasa, favorece el cumplimiento de los planes de ordenación forestales, alcanzando una explotación sostenible.

En los agentes menos interesados sí que existe una cierta tendencia a que sean las empresas suministradoras de biomasa las que menos interés poseen en que se lleve a cabo la red de calefacción. Es curioso porque también eran las que a veces eran las más influyentes. Esto se debe a que la duración de los contratos de suministro con los promotores no son lo suficientemente interesantes, para que les supongan una incidencia notable en la estabilidad de sus ingresos.

Otra situación interesante de analizar es que en el caso 1, el que posee un mayor valor de indicador global de sostenibilidad, el agente menos interesado es el promotor. Hay que tener en cuenta que estos resultados son siempre relativos a cada caso por lo que, aunque aparezca como el menor, no significa que alcance el nivel más bajo de todos los casos de estudio. De hecho, en este caso no sucede así. En el caso 2 por ejemplo, el promotor posee un nivel de interés del 18.3% (sin ser el agente menos influyente) y en el caso 1 de 51.9%.

Para ver estos valores sin que sean relativos y que se puedan comparar directamente entre dos alternativas, se puede acudir a la Tabla 4-4 y Tabla 4-5.

Tabla 4-4 Comparativa agentes influyentes

Agentes Influyentes	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso con Mayor Nivel
Gestor del Monte	100.0	0.0	4.5	74.0	Caso 1
Titulares de los Recursos	100.0	0.0	0.0	0.0	Caso 1
Empresas S. Biomasa	69.6	50.0	69.6	0.0	Caso 1 y 2
Gestor Medioambiental	26.7	40.0	26.7	21.1	Caso 2
Ayuntamiento	74.8	39.0	52.9	66.8	Caso 1
Usuarios	62.6	43.5	35.8	69.5	Caso 4
Promotor	90.6	46.0	62.0	66.1	Caso 1
Entidades Financieras	44.4	44.4	44.4	44.4	Caso 1 , 2, 3 y 4
Cooperativas Agrícolas	No Aplica	No Aplica	No Aplica	5.5	Caso 4

Tabla 4-5 Comparativa agentes interesados

Agentes Interesados	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso con Mayor Nivel
Gestor del Monte	84.6	69.2	84.6	69.2	Caso 1 y 3
Titulares de los Recursos	100.0	20.0	25.0	50.0	Caso 1
Empresas S. Biomasa	100.0	0.0	0.0	0.0	Caso 1
Gestor Medioambiental	100.0	100.0	100.0	66.7	Caso 1, 2 y 3
Ayuntamiento	66.7	33.3	33.3	33.3	Caso 1
Usuarios	84.4	36.7	36.7	70.0	Caso 1
Promotor	51.9	18.3	27.7	31.8	Caso 1
Entidades Financieras	52.9	28.6	62.9	38.0	Caso 3
Cooperativas Agrícolas	No Aplica	No Aplica	No Aplica	33.3	Caso 4

Se puede observar el claro dominio que posee la alternativa 1 en el ámbito de agentes con mayores niveles de influencia e interés, lo que demuestra de forma más precisa que el Indicador Global de Sostenibilidad de este caso será el más estable y el que posea una sostenibilidad mayor, por lo que será la red más interesante para llevarla a cabo.

En principio, está más o menos claro que la alternativa 1 es la más interesante y la alternativa 2 es la que menor sostenibilidad tendrá, sin embargo entre el caso 3 y el 4 no está tan claro, por eso se procede a realizar un estudio más intensivo.



Figura 4-17 Comparación gráficas influencia de los casos 3 (izquierda) y 4 (derecha)



Figura 4-18 Comparación gráficas interés de los casos 3 (izquierda) y 4 (derecha)

En las Figura 4-17 y Figura 4-18 es interesante ver como de equilibrados están los niveles tanto de influencia como de interés. En el caso de influencia, parece que se encuentra algo más equilibrada la alternativa 3, teniendo en cuenta que las cooperativas agrícolas no participan en ella. Es interesante que la influencia esté repartida porque supondrá que no habrá agentes que posean un poder muy superior respecto el resto de agentes sobre la red. Si la sostenibilidad del sistema recae sobre un número de agentes muy bajo, cada decisión que tomen o los cambios de sus actos que realicen a lo largo de los años, harán tambalear la estabilidad que posee el conjunto de la red de calefacción.

Sin embargo, desde el punto de vista del interés de los agentes, el caso 4 es el que se encuentra con un equilibrio mayor. Es también muy interesante que los intereses que tienen los diferentes agentes se encuentren lo más repartido posibles. Si una red de calefacción conlleva a que el beneficio o interés es únicamente para un grupo muy reducido de agentes, mientras que hay muchos otros a los que apenas les beneficia en nada, el sistema pierde gran parte de su sentido y potencial.

Como ya se ha comentado, las redes de calefacción poseen la suficiente capacidad para suponer beneficios de muchas índoles distintas, siempre que se desarrollen de forma óptima y bajo unas condiciones y entornos favorables.

Siguiendo con la comparación, un agente que es importante evaluar, porque al final es el que toma la decisión de seguir adelante y asumir los riesgos, es el promotor. En ambas alternativas, los niveles que alcanza el promotor son muy parejos, por lo que en este caso tampoco va a poder ser un factor determinante para decidir claramente una alternativa u otra.

Viendo las diferencias más marcadas que se producen entre una alternativa y la otra se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- En el caso 3, las entidades financieras poseen unos niveles considerablemente superiores, así como el gestor medioambiental, por lo que parece que la sostenibilidad económica y parte de la ambiental se encuentran un poco más fortalecidas en este caso.

- Por otro lado, en el caso 4, los agentes que poseen un nivel mayor respecto el otro son los usuarios de la red y los titulares de los recursos, por lo que parece que las sostenibilidad social se encuentra más potenciada que en el caso 3.

Como en muchas ocasiones, la toma de decisiones depende de las circunstancias específicas que se tengan en cada caso y de la experiencia que posea la persona encargada de la evaluación. Este modelo es una herramienta verdaderamente útil para facilitar este proceso pero no proporciona ninguna solución por sí solo. Por eso mismo, sin conocer más a fondo el entorno que se tiene tanto en el caso 3 como en el 4, no se puede elegir ninguna de las dos como la opción más sostenible y favorable, sin asumir riesgos.

Sin embargo, como siempre va a existir algún nivel de riesgo, desde ese trabajo, bajo las condiciones que se tienen, se incita a decantarse por la opción 4, debido a que se cree que el reparto de los intereses que supone el proyecto entre los diferentes agentes es un aspecto clave y porque el nivel de la influencia e interés del promotor y del indicador global de sostenibilidad son ligeramente superiores que en el caso 3.



# 5 DISCUSIÓN Y MEJORAS FUTURAS

---

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Universidad de Sevilla*

*Sevilla, 2019*

Con la aplicación del modelo Biomass Universal District Heating (BioUnivDH), se ha demostrado el potencial que posee para ayudar a la comprensión de cada caso y a la toma de decisiones cuando se poseen diferentes alternativas. Esto se debe a que proporciona resultados tanto generales como específicos, pudiendo localizar e identificar las causas raíces de los problemas de estabilidad de los proyectos de redes de calefacción con biomasa (BioDH).

El modelo posee una triple función:

- Proporciona resultados e indicadores cuantificables de la sostenibilidad que posee un sistema BioDH, teniendo en cuenta sus tres vertientes: medioambiental, económica y social. También indica cómo se relacionan los distintos agentes que participan y con qué fuerza.
- Como todo el modelo está basado en la descomposición del sistema BioUnivDH en una serie de factores de sostenibilidad, que son hechos y circunstancias tangibles o cuantificables, permite encontrar las debilidades y fortalezas de los proyectos. De esta forma, se pueden tomar medidas concretas que consigan revertir aquellos factores de sostenibilidad débiles y mejorar así la sostenibilidad global del sistema. Por tanto, gracias al modelo, es fácil realizar una mejora continua del BioUnivDH.
- Como las salidas del modelo son indicadores, parámetros y gráficas, se pueden realizar comparativas indirectas y directas entre diferentes alternativas, aunque posean circunstancias y localizaciones muy distintas entre ellas. Esta circunstancia es clave para poder realizar tomas de decisiones a la hora de evaluar los proyectos, además ayuda a localizar posibles tendencias que sucedan en determinadas zonas o condiciones.

Es cierto que en este modelo basado en relaciones entre agentes que participan en un sistema, siempre se puede desarrollar más, hasta niveles de detalle muy precisos y por eso puede parecer a veces que siempre se encuentra algo incompleto y que se podría dar un paso más. Pero por otro lado, hay que establecer ciertos límites para que el modelo no se convierta en excesivamente tedioso e inviable.

Se considera que el modelo presentado y utilizado se encuentra lo suficientemente desarrollado para el objetivo que tiene el trabajo, que al fin y al cabo es el de presentar y demostrar la capacidad que tiene el mismo.

Realmente, el hecho de que sea un modelo que siempre se puede desarrollar más, no es una problemática, sino todo lo contrario. Como las bases en las que se fundamenta son tan flexibles, siempre se pueden incluir en el modelo un mayor número de agente y de factores de sostenibilidad que hagan que los resultados sean más preciosos aún. Además se puede adaptar siempre a la situación que se requiera.

Por ejemplo, si se desea hacer la evaluación de un proyecto que acaba de idearse por primera vez, se puede aplicar el modelo pero a un nivel superior, utilizando datos muy generales como entradas. Más adelante, cuando el proyecto ya se encuentre en ejecución, se puede proceder a realizar un análisis muy preciso, porque ya se disponen de todos los datos necesarios, incluyendo todos los posibles agentes y factores de sostenibilidad que puedan aparecer.

Por otro lado, el modelo presentado se puede aplicar a cualquier tipo de proyectos. En este trabajo, se ha aplicado a redes de calefacción de biomasa porque se cuenta con la ayuda de expertos en este campo, pero realmente la versatilidad del modelo permite aplicarlo a cualquier situación posible, incluso a proyectos no industriales.

Indagando más aún, se puede comentar que el modelo permite realizar evaluaciones de potencial masivas a niveles geográficos superiores. Es decir, si en una determinada zona se tienen unas series de restricciones y entorno comunes, supone que hay una serie de factores de sostenibilidad que siempre se van a cumplir o nunca van a darse. Ese entorno que es común para todos los sistemas que se lleven a cabo en esa zona, va a determinar los resultados que arroje el modelo, que supondrán la base de todos los ellos y va a determinar un potencial geográfico que mostrará en qué zonas hay más facilidades para desarrollar el proyecto y dónde hay más dificultades.

Por ejemplo, el potencial podría evaluarse a nivel de países europeos, donde cada uno de ellos posee su propia legislación, demanda energética media, costes, etc. Estas condiciones van a determinar alguno de los factores de sostenibilidad del modelo (por ejemplo aquella legislación que sea de materia ambiental o de industria). Si solo se tienen en cuenta en el modelo aquellos factores que los determinan únicamente en qué país está el proyecto ubicado, se obtiene una serie de resultados que dependen únicamente de si un proyecto se lleva a cabo en un país o en otro.

Los países del norte de Europa, dónde las redes de calefacción se encuentran más desarrolladas y reguladas, seguramente aparezcan con unos valores de sostenibilidad de llevar a cabo proyectos allí superiores a los valores que se tienen en los países del sur. De esta forma, se podrían evaluar las condiciones de las que parten los proyectos en función de donde se encuentren, pudiendo identificar las ventajas e inconvenientes de cada caso y tomar las medidas necesarias si se pretende promover el potencial de implantación que posee un cierto país. Como ya se ha comentado, esta evaluación a un nivel geográfico superior se podría realizar con cualquier tipo de proyecto, no solo con redes de calefacción con biomasa.

Por todo esto, desde este trabajo se fomenta y motiva a que se use el mismo para aplicarlo a otras circunstancias, proyectos y a diferentes niveles de precisión de evaluación.

Se podría incluso desarrollar algún software que permita la opción de elegir el tipo de evaluación de sostenibilidad que se desea realizar y a qué proyecto, de forma que se encuentren implementados dentro de él numerosas variantes del modelo presentado. Siempre contando con la ayuda indispensable de los expertos necesarios en cada campo para poder desarrollarlo.

Al fin y al cabo, lo que se demuestra es que el modelo no pone límites ni restricciones de casi ningún tipo, lo que supone que cada evaluador es el que puede establecerlas dependiendo de lo que se desee en cada caso. Justamente esta característica es lo que determina el gran potencial que posee el modelo basado en relaciones entre agentes.





# 6 CONCLUSIONES

---

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Universidad de Sevilla*

*Sevilla, 2019*

Gracias a este trabajo se ha conseguido desarrollar un nuevo modelo de relación entre agentes que permite evaluar de forma óptima la sostenibilidad de los sistemas BioUnivDH, además de realizar una aplicación práctica del mismo sobre cuatro casos reales de estudio. Utilizando el modelo se podrán identificar las posibles barreras que impiden el desarrollo de esta tecnología y poder tomar las medidas necesarias para removerlas; estas barreras, que pueden de ser de índole muy variada, es uno de los mayores problemas a los que se enfrenta este tipo de tecnología.

Las actividades claves que se han ido ejecutando para la consecución de los objetivos son las siguientes:

- Se ha definido y explicado con profundidad el modelo de BioUnivDH, comentando la utilidad que posee concebir las redes de calefacción urbana con biomasa desde esa perspectiva, ya que ayuda a comprender todos los factores que entran en juego en el sistema a partir del enfoque holístico que permite identificar y optimizar la relación de los agentes que entran en juego.
- Se han definido todos los subsistemas y agentes que participan en dentro de los BioUnivDH, exponiendo sus características principales y sus funciones dentro del conjunto. Todo esto se ha comentado de forma genérica y más completa posible, pudiendo darse situaciones especiales donde determinados agentes o subsistemas no participen o tengan funciones peculiares.
- Se ha aplicado el modelo BioUnivDH de forma práctica a cuatro casos de estudio reales, consiguiendo que los conceptos explicados de forma teórica se comprendan mejor. Para poder realizar esta aplicación práctica, ha sido necesaria la implementación del modelo con la ayuda de herramientas informáticas, consiguiendo así que este proceso sea repetitivo y práctico.
- Aplicando el modelo a los casos de estudio, se han obtenido una serie de resultados relacionados con la sostenibilidad de los mismos. Se han determinado los Indicadores Globales de Sostenibilidad, los niveles de influencia e interés de los agentes y el nivel de las relaciones entre agentes. Además, en base a los factores de sostenibilidad, se han podido determinar aquellas medidas que podrían llevarse a cabo para mejorar la estabilidad y sostenibilidad de las redes de calefacción, demostrando que el modelo tiene la capacidad de encontrar las debilidades concretas de los sistemas.
- También se ha realizado una comparación entre los resultados de los diferentes casos de estudio. Si se tiene en cuenta el Indicador Global de Sostenibilidad, el caso de estudio 1 es el que más nivel alcanza, siendo su valor de 68.4%. Por otro lado, el que menor nivel ha alcanzado es el caso 2 con un 34.1%. Los otros dos casos poseen unos valores muy parejos por lo que ha sido necesaria una evaluación a mayor profundidad. Esta evaluación ha consistido en analizar los niveles de influencia e interés que poseen los diferentes agentes, así como las relaciones existentes en los mismos. Viendo los valores que toman determinados agentes y observando la homogeneidad de las distribuciones que ha arrojado el modelo, se llega a la conclusión de que el caso 4 es ligeramente más sostenible que el caso 3, teniendo en cuenta que se posee un cierto riesgo al realizar esta afirmación.
- Tras la discusión de los resultados, se han comentado las ventajas y limitaciones que se tienen al emplear este modelo como método para evaluar la sostenibilidad de sistemas. El gran potencial que posee el mismo se debe a la gran flexibilidad y versatilidad que tiene, de forma que se puede adaptar a cualquier tipo de necesidad, por lo que se pueden realizar evaluaciones a mayor o a menor nivel de

precisión y a casi todos los tipos de proyectos o sistemas. También es válido para realizar evaluaciones de potencial de implantación de un proyecto determinado dentro de un área geográfica de estudio.

Por todo lo que se ha expuesto, se puede decir que se han alcanzado todos los objetivos propuestos al comienzo de la investigación, dejando para estudios posteriores las posibles mejoras o complementos que se puedan realizar al mismo.



# REFERENCIAS

---

- [1] Fundación Empresa y Clima, “Informe de Situación de las Emisiones de CO2 en el Mundo. Report on World’s CO2 Emissions Situation,” 2015.
- [2] Eurostat, “Estadísticas de energía renovable - Statistics Explained.” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics/es](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/es).
- [3] International Energy Agency, “Market Report Series: Renewables 2018. Analysis and Forecasts to 2023.”
- [4] IRENA, “Renewable capacity highlights,” no. March, pp. 1–2, 2019.
- [5] H. Ritchie and M. Roser, “Renewable Energy. Empirical View,” *Our World Data*, Dec. 2017.
- [6] Tribunal de Cuentas Europeo, “Energía renovable para un desarrollo rural sostenible: posibles sinergias significativas, pero en su mayoría no materializadas en la práctica,” 2018.
- [7] Ministerio para la Transición Ecológica, “Avance de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondientes al año 2018,” 2018.
- [8] F. H. Shu, “Stopping and Reversing Climate Change,” *Resonance*, vol. 24, no. 2, pp. 181–200, Feb. 2019.
- [9] IEA, “World Energy Outlook 2018,” 2018.
- [10] “Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020 | Acción por el Clima.” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es#tab-0-2](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es#tab-0-2).
- [11] “Marco sobre clima y energía para 2030 | Acción por el Clima.” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es).
- [12] IDAE and Eurostat European Commission, “Consumos del Sector Residencial en España,” p. 16, 2011.
- [13] V. M. Soltero, R. Chacartegui, C. Ortiz, and R. Velázquez, “Potential of biomass district heating systems in rural areas,” *Energy*, vol. 156, pp. 132–143, Aug. 2018.
- [14] V. Soltero, R. Chacartegui, C. Ortiz, J. Lizana, and G. Quirosa, “Biomass District Heating Systems Based on Agriculture Residues,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 4, p. 476, Mar. 2018.
- [15] S. Frederiksen and S. Werner, *District heating and cooling*. Studentlitteratur, 2013.
- [16] “Cooling and heating networks for the low-carbon city.” [Online]. Available: <https://www.engie.com/en/businesses/district-heating-cooling-systems/>.
- [17] V. M. Soltero, R. Chacartegui, C. Ortiz, and R. Velázquez, “Evaluation of the potential of natural gas district heating cogeneration in Spain as a tool for decarbonisation of the economy,” *Energy*, vol. 115, pp. 1513–1532, Nov. 2016.
- [18] E. Carpaneto, P. Lazzeroni, and M. Repetto, “Optimal integration of solar energy in a district heating network,” *Renew. Energy*, vol. 75, pp. 714–721, Mar. 2015.
- [19] P. A. Østergaard and H. Lund, “A renewable energy system in Frederikshavn using low-temperature geothermal energy for district heating,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 2, pp. 479–487, Feb. 2011.
- [20] A. Aslan, B. Yüksel, and T. Akyol, “Effects of different operating conditions of Gonen geothermal district heating system on its annual performance,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 79, pp. 554–567, Mar. 2014.
- [21] P. Alberg Østergaard, B. V. Mathiesen, B. Möller, and H. Lund, “A renewable energy scenario for Aalborg Municipality based on low-temperature geothermal heat, wind power and biomass,” *Energy*,

- vol. 35, no. 12, pp. 4892–4901, Dec. 2010.
- [22] V. M. Soltero, R. Chacartegui, C. Ortiz, and G. Quirosa, “Techno-Economic Analysis of Rural 4th Generation Biomass District Heating,” *Energies*, vol. 11, no. 12, p. 3287, Nov. 2018.
- [23] D. Testi *et al.*, “Synthesis and Optimal Operation of Smart Microgrids Serving a Cluster of Buildings on a Campus with Centralized and Distributed Hybrid Renewable Energy Units,” *Energies*, vol. 12, no. 4, p. 745, Feb. 2019.
- [24] R. Roberto, R. De Iulio, M. Di Somma, G. Graditi, G. Guidi, and M. Noussan, “A multi-objective optimization analysis to assess the potential economic and environmental benefits of distributed storage in district heating networks: a case study,” *Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag.*, vol. 20, Apr. 2019.
- [25] S. Frederiksen and S. Werner, *District Heating and Cooling*, 2013.
- [26] S. Werner, “International review of district heating and cooling,” *Energy*, vol. 137, pp. 617–631, Oct. 2017.
- [27] ADHAC Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío, “Censo de Redes de Calor y Frío 2018,” p. 34, 2018.
- [28] A. Colmenar-Santos, E. Rosales-Asensio, D. Borge-Diez, and J.-J. Blanes-Peiró, “District heating and cogeneration in the EU-28: Current situation, potential and proposed energy strategy for its generalisation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 621–639, Sep. 2016.
- [29] H. Lund *et al.*, “4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems,” *Energy*, vol. 68, pp. 1–11, Apr. 2014.
- [30] Federación Española de Municipios y Provincias and Red Española de Ciudades por el Clima, “Climatización Urbana en las Ciudades Españolas,” 2011.
- [31] Institut Català d’Energia and Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío, “Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y de Frío,” 2011.
- [32] A. Colmenar-Santos, E. Rosales-Asensio, D. Borge-Diez, and F. Mur-Pérez, “Cogeneration and district heating networks: Measures to remove institutional and financial barriers that restrict their joint use in the EU-28,” *Energy*, vol. 85, pp. 403–414, Jun. 2015.
- [33] S. Ferrari and F. Zagarella, “Assessing Buildings Hourly Energy Needs for Urban Energy Planning in Southern European Context,” *Procedia Eng.*, vol. 161, pp. 783–791, Jan. 2016.
- [34] D. Tutica, “Energy Management Solutions to Increase Performance of a Supplier and Consumer System: Case Study for an University CHP,” 2018.
- [35] P. van den Brom, A. R. Hansen, K. Gram-Hanssen, A. Meijer, and H. Visscher, “Variances in residential heating consumption – Importance of building characteristics and occupants analysed by movers and stayers,” *Appl. Energy*, vol. 250, pp. 713–728, Sep. 2019.
- [36] V. Nevrlý, R. Šomplák, O. Putna, and M. Pavlas, “Location of mixed municipal waste treatment facilities: Cost of reducing greenhouse gas emissions,” *J. Clean. Prod.*, vol. 239, p. 118003, Dec. 2019.
- [37] E. Guelpa and H. Lund, “Towards future infrastructures for sustainable multi-energy systems: A review,” *Energy*, vol. 184, pp. 2–21, Oct. 2019.
- [38] M. Mohammadi, “Developing a Framework for Distributed and Multi-agent Management of Future Sustainable Energy Systems,” Springer, Cham, 2020, pp. 192–196.
- [39] R. I. Radics, S. Dasmohapatra, and S. S. Kelley, “Use of linear programming to -optimize the social, -environmental, and economic impacts of using woody feedstocks for pellet and -torrefied pellet production,” *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 10, no. 4, pp. 446–461, Jul. 2016.
- [40] A. Ambrose, “User and organisational responses to biomass district heating,” *Proc. Inst. Civ. Eng. - Urban Des. Plan.*, vol. 167, no. 1, pp. 35–41, Feb. 2014.
- [41] M. Lamagna, M. Carlucci, D. Groppi, and D. A. Garcia, “Social and Economic Impact of a Waste-to-

- Energy Strategy Applied to the Winemaking Chain: A Case Study in the Italian Countryside,” in *2019 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, 2019, pp. 1–6.
- [42] “HomeINTENSSS-PA.” [Online]. Available: <http://www.intensspa.eu/>.
- [43] D. Poputoaia and S. Bouzarovski, “Regulating district heating in Romania: Legislative challenges and energy efficiency barriers,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 7, pp. 3820–3829, Jul. 2010.
- [44] A. Thakur, C. E. Canter, and A. Kumar, “Life-cycle energy and emission analysis of power generation from forest biomass,” *Appl. Energy*, vol. 128, pp. 246–253, Sep. 2014.
- [45] Y. P. Villabona and V. Kafarov, “Methodology for the Life Cycle Assessment (LCA) in Combustion Processes Where the Fuel is Pelleted Agricultural Biomass,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 64, pp. 427–432, 2018.
- [46] P. J. Verkerk *et al.*, “Spatial distribution of the potential forest biomass availability in Europe,” *For. Ecosyst.*, vol. 6, no. 1, p. 5, Dec. 2019.
- [47] T. Sampim, N. Kokkaew, and P. Parnphumeesup, “Risk Management in Biomass Power Plants Using Fuel Switching Flexibility,” *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 1099–1104, Oct. 2017.
- [48] T. Sampim and N. Kokkaew, “Modelling of Government Support in Biopower Plant Projects: The Case of Thailand,” *Energy Procedia*, vol. 52, pp. 525–535, Jan. 2014.
- [49] L. S. Esteban and J. E. Carrasco, “Biomass resources and costs: Assessment in different EU countries,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. S21–S30, Oct. 2011.
- [50] S. N. Dodić, V. N. Zekić, V. O. Rodić, N. L. Tica, J. M. Dodić, and S. D. Popov, “The economic effects of energetic exploitation of straw in Vojvodina,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 397–403, Jan. 2012.
- [51] V. M. Soltero, S. Rodríguez-Artacho, R. Velázquez, and R. Chacartegui, “Biomass universal district heating systems,” *E3S Web Conf.*, vol. 22, p. 00163, Nov. 2017.
- [52] C. Kuster, J.-L. Hippolyte, and Y. Rezgui, “Collaborative Network for District Energy Operation and Semantic Technologies: A Case Study,” Springer, Cham, 2018, pp. 486–495.
- [53] J. Busch, K. Roelich, C. S. E. Bale, and C. Knoeri, “Scaling up local energy infrastructure; An agent-based model of the emergence of district heating networks,” *Energy Policy*, vol. 100, pp. 170–180, Jan. 2017.
- [54] J. del Estado, *Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes*. 2003, pp. 1–90.
- [55] Ministerio para la Transición Ecológica, “El comercio de derechos de emisión.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/que-es-el-comercio-de-derechos-de-emision/>.
- [56] Ministerio de Hacienda, *Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales*. 2004.
- [57] Ministerio de Economía y Hacienda, *Real Decreto Legislativo 1175/1990, de 28 de septiembre, por el que se aprueban las tarifas y la instrucción del Impuesto sobre Actividades Económicas*. 1990.



## 7 ANEXO A - TABLA DE FACTORES DE SOSTENIBILIDAD

---

**E**n este anexo se presenta una tabla donde se muestran los factores de sostenibilidad que se han tenido en cuenta en este trabajo. Están organizados en función de cuáles son los agentes que entran en juego en cada uno de ellos.

Esta tabla es la base del modelo Biomass

Universal District Heating que se ha presentado y a partir de la cual se han ido ejecutando el resto de procedimientos. Con esta tabla, por tanto, se consiguen tener una idea rápida y general de qué se fundamenta el trabajo.



	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte		12.1 Plan de aprovechamientos destinados a BioUnivDH con los titulares del recurso				16.1 Plan de aprovechamientos por parte de los usuarios	17.1 Convenio aprovechamientos para la zona con el promotor 17.2 Duración precio estable de la biomasa		
Titulares del Recurso					25.1 Organización del Ayuntamiento de los titulares de los recursos		27.1 Convenio cesión de aprovechamientos para la zona		
Empresas Siministradoras Biomasa	31.1 Mercado local de biomasa	32.1 Mercado local de biomasa		34.1 Mercado local de biomasa			37.1 Duración de precio estable de biomasa de las compañías 37.2 Garantía de suministro por mercado local de biomasa	38.1 Duración de precio estable de biomasa de las compañías 38.2 Garantía de suministro por mercado local de biomasa	
Gestor Medioambiental	41.1 Cumplimiento de los planes de ordenación				45.1 Existencia de normativa ambiental para centrales DH	46.1 Existencia de problemática de emisiones	47.1 Existencia de normativa ambiental para centrales DH	48.1 Ayudas sobre derechos de emisión	49.1 Plan de eliminación de residuos
Ayuntamiento	51.1 Plan de aprovechamiento en montes municipales					56.1 Bonificación del IBI	57.1 Demanda edificios municipales 57.2 Bonificación ICI O, Declaración utilidad pública 57.3 Cesión de suelos para implantar la central 57.4 Canon por % de ocupación del suelo público 57.5 Existencia normativa local de implantación de centrales en suelo urbano	58.1 Demanda edificios municipales 58.2 Duración del contrato edificios públicos conectados	59.1 Bonificación del IAE a cooperativas proveedoras de la red
Usuarios							67.1 Densidad de demanda de calefacción 67.2 Aceptación del proyecto 67.3 Duración del contrato 67.4 Cesión del recurso forestal por descuentos en la calefacción 67.5 Cesión del recurso agrícola por descuento en la calefacción		
Promotor / Inversor	71.1 Cumplimiento de los planes de ordenación forestales	72.1 Garantizar los ingresos de los titulares de los recursos 72.2 Descuentos por cesión de aprovechamientos	73.1 Duración de los contratos de suministro	74.1 Reducción de los niveles de emisiones	75.1 Imagen de progreso y modernidad en el municipio 75.2 Edificios públicos de cero emisiones 75.3 Canon por % de ocupación de suelos	76.1 Descuentos en la calefacción 76.2 Financiación de los equipos individuales			79.1 Garantizar los ingresos de las cooperativas 79.2 Descuentos por cesión de recursos agrícolas
Entidades Financieras							87.1 Financiación sin recurso de accionista 87.2 Plazo de financiación 87.3 Carencia 87.4 Apalancamiento 87.5 Garantía recurso		
Cooperativas Agrícolas							97.1 Contrato de suministro biomasa agrícola 97.2 Plazo del contrato 97.3 Periodo durante el que el precio de la biomasa es estable 97.4 Volumen de Biomasa Agrícola		

## 8 ANEXO B - TABLA DE VALORES LÍMITES DEL CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN

---

**S**e presenta la tabla donde se muestran los valores límites en los que se ha basado el cuestionario de evaluación realizado en este trabajo. En base a estos valores, el cuestionario ha adaptados las situaciones físicas o tangibles de los factores de sostenibilidad a valores numéricos cuantificables, aptos para introducirlos en la parte matemática del modelo Biomass Universal District Heating.

	Gestor del Monte		Titular del Recurso		Empresas Suministradoras Biomasa		Gestor Medioambiental		Ayuntamiento		Usuarios		Promotor / Inversor		Entidades Financieras		Cooperativas Agrícolas	
	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario	Factor de Sostenibilidad	Criterio Adaptación Cuestionario
<b>Gestor del Monte</b>			12.1	100% es un 10; 0% es un 0							16.1	Sí es un 10; No es un 0	17.1	100% es un 10; 0% es un 0				
													17.2	10 es un 10; 0 es un 0				
<b>Titulares del Recurso</b>									25.1	Sí es un 10; No es un 0			27.1	Sí es un 10; No es un 0				
<b>Empresas Siministradoras Biomasa</b>	31.1	Sí es un 10; No es un 0	32.1	Sí es un 10; No es un 0			34.1	Sí es un 10; No es un 0					37.1	Sí es un 10; No es un 0	38.1	Sí es un 10; No es un 0		
													37.2	Sí es un 10; No es un 0	38.2	Sí es un 10; No es un 0		
<b>Gestor Medioambiental</b>	41.1	Sí es un 10; No es un 0							45.1	Sí es un 10; No es un 0	46.1	Sí es un 10; No es un 0	47.1	Sí es un 10; No es un 0	48.1	Sí es un 10; No es un 0	49.1	Sí es un 10; No es un 0
<b>Ayuntamiento</b>	51.1	Sí es un 10; No es un 0									56.1	95% es un 10; 0% es un 0	57.1	50% es un 10; 0% es un 0	58.1	50% es un 10; 0% es un 0	59.1	95% es un 10; 0% es un 0
													57.2	95% es un 10; 0% es un 0	58.2	5 es un 10; 0 es un 0		
													57.3	Sí es un 10; No es un 0				
													57.4	95% es un 10; 0% es un 0				
													57.5	Sí es un 10; No es un 0				
<b>Usuarios</b>													67.1	300 es un 10; 50 es un 0				
													67.2	100% es un 10; 0% es un 0				
													67.3	2 es un 10; 0 es un 0				
													67.4	Sí es un 10; No es un 0				
													67.5	Sí es un 10; No es un 0				
<b>Promotor / Inversor</b>	71.1	Sí es un 0; No es un 10	72.1	Sí es un 10; No es un 0	73.1	5 es un 10; 0 es un 0	74.1	Sí es un 10; No es un 0	75.1	Sí es un 10; No es un 0	76.1	30% es un 10; 0% es un 0					79.1	Sí es un 10; No es un 0
			72.2	Sí es un 10; No es un 0					75.2	Sí es un 10; No es un 0	75.2	Sí es un 10; No es un 0					79.2	Sí es un 10; No es un 0
									75.3	0% es un 10; 95% es un 0								
<b>Entidades Financieras</b>													87.1	Sí es un 10; No es un 0				
													87.2	Sí es un 10; No es un 0				
													87.3	2 es un 10; 0 es un 0				
													87.4	100% es un 10; 0% es un 0				
													87.5	Sí es un 10; No es un 0				
<b>Cooperativas Agrícolas</b>													97.1	Sí es un 10; No es un 0				
													97.2	2 es un 10; 0 es un 0				
													97.3	2 es un 10; 0 es un 0				
													97.4	100% es un 10; 0% es un 0				

# 9 ANEXO C - TABLA DE PONDERADORES PARCIALES DE LOS FACTORES DE SOSTENIBILIDAD

---

**E**n esta tabla se muestran los ponderadores parciales de los factores de sostenibilidad que se han usado en este trabajo. Cabe destacar que estos ponderadores se han establecido y definido con la ayuda de expertos en el campo de proyectos de redes de calefacción con biomasa, por lo que son valores que no se han establecido de forma arbitraria

Estos ponderadores son necesarios para poder implementar la parte matemática del modelo Biomass Universal District Heating y por ese mismo motivo se presentan aquí.

	Gestor del Monte		Titular del Recurso		Empresas Suministradoras Biomasa		Gestor Medioambiental		Ayuntamiento		Usuarios		Promotor / Inversor		Entidades Financieras		Cooperativas Agrícolas	
	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]	Factor de Sostenibilidad	Ponderadores Parciales [0, 5]
Gestor del Monte			12.1	5							16.1	5	17.1	4				
													17.2	3				
Titulares del Recurso									25.1	5			27.1	5				
Empresas Siministradoras Biomasa	31.1	5	32.1	5			34.1	5					37.1	5	38.1	4		
													37.2	3	38.2	3		
Gestor Medioambiental	41.1	5							45.1	5	46.1	5	47.1	5	48.1	5	49.1	5
Ayuntamiento	51.1	5									56.1	5	57.1	5	58.1	4	59.1	5
													57.2	4	58.2	3		
													57.3	3				
													57.4	2				
													57.5	2				
Usuarios													67.1	5				
													67.2	3				
													67.3	4				
													67.4	2				
													67.5	2				
Promotor / Inversor	71.1	5	72.1	3	73.1	5	74.1	5	75.1	4	76.1	5					79.1	4
			72.2	3					75.2	3	75.2	3					79.2	3
									75.3	2								
Entidades Financieras													87.1	3				
													87.2	3				
													87.3	5				
													87.4	5				
													87.5	2				
Cooperativas Agrícolas													97.1	3				
													97.2	2				
													97.3	3				
													97.4	3				

# 10 ANEXO D - RESULTADOS DE LOS CASOS DE ESTUDIO

En este anexo se procede a presentar todos los resultados, tanto intermedios como finales, que se han ido obteniendo de aplicar el modelo a los diferentes casos de estudio. Aunque los resultados más importantes ya se han comentado en apartados anteriores, puede que sea útil presentar el conjunto de todos ellos, por si se quiere acudir a realizar alguna comprobación específica o si de alguna forma éstos ayudan a comprender mejor o a solucionar dudas de los casos de estudio presentados.

## - Caso 1

Matriz de Relación entre Agentes,  $R_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras	10.00	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00	3.75	4.29	0.00
Gestor Medioambiental	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
Ayuntamiento	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	3.44	2.57	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.81	0.00	0.00
Promotor / Inversor	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	5.31	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes,  $C_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	1.82	3.64	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	0.00	3.75	0.00	0.00
Empresas Suministradoras	1.67	1.67	0.00	1.67	0.00	0.00	3.33	1.67	0.00
Gestor Medioambiental	1.33	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	2.67	0.67	0.00
Ayuntamiento	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	3.13	0.63	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Promotor / Inversor	1.60	1.20	1.60	1.60	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados,  $D_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.33	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	1.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras	1.54	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00	1.33	5.00	0.00
Gestor Medioambiental	1.54	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	1.33	2.50	0.00
Ayuntamiento	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	1.67	2.50	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
Promotor / Inversor	3.08	3.00	10.00	6.67	3.33	3.33	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Influencia,  $I_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	100.00	37.50	50.00	46.67	62.50	100.00	32.00	100.00	0.00
Titular del Recurso	36.36	100.00	33.33	60.00	31.25	100.00	20.00	100.00	0.00
Empresas Suministradoras I	59.09	14.06	69.64	26.19	45.65	37.50	44.00	37.50	0.00
Gestor Medioambiental	18.18	0.00	16.67	26.67	37.50	0.00	20.00	0.00	0.00
Ayuntamiento	30.68	12.89	32.41	44.21	74.85	34.38	36.00	34.38	0.00
Usuarios	24.77	25.55	22.71	18.17	21.29	68.13	0.00	68.13	0.00
Promotor / Inversor	55.11	62.50	50.00	57.29	47.85	0.00	90.63	0.00	0.00
Entidades Financieras	16.16	16.67	14.81	11.85	13.89	44.44	0.00	44.44	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Interés,  $B_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	84.62	50.00	100.00	100.00	33.33	66.67	30.00	75.00	0.00
Titular del Recurso	46.15	100.00	100.00	100.00	33.33	46.67	26.67	50.00	0.00
Empresas Suministradoras I	30.77	30.00	100.00	66.67	33.33	33.33	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	46.15	50.00	100.00	100.00	33.33	33.33	13.33	50.00	0.00
Ayuntamiento	30.77	30.00	100.00	66.67	66.67	33.33	10.00	0.00	0.00
Usuarios	70.19	65.94	53.13	35.42	51.04	84.38	43.33	50.00	0.00
Promotor / Inversor	18.99	57.50	0.00	12.50	33.33	24.79	52.82	27.34	0.00
Entidades Financieras	31.87	8.57	0.00	14.29	33.33	28.57	23.33	52.86	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## - Caso 2

Matriz de Relación entre Agentes,  $R_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	10.00	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	10.00
Ayuntamiento	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19	1.43	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.35	0.00	0.00
Promotor / Inversor	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	5.00	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes,  $C_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	1.82	3.64	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	0.00	3.75	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	1.67	1.67	0.00	1.67	0.00	0.00	3.33	1.67	0.00
Gestor Medioambiental	1.33	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	2.67	0.67	0.00
Ayuntamiento	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	3.13	0.63	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Promotor / Inversor	1.60	1.20	1.60	1.60	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados,  $D_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.33	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	1.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	1.54	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00	1.33	5.00	0.00
Gestor Medioambiental	1.54	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	1.33	2.50	0.00
Ayuntamiento	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	1.67	2.50	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
Promotor / Inversor	3.08	3.00	10.00	6.67	3.33	3.33	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Influencia,  $I_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	45.45	0.00	50.00	13.33	31.25	0.00	44.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	18.18	0.00	33.33	40.00	68.75	0.00	36.00	0.00	0.00
Ayuntamiento	7.95	8.20	26.34	20.12	38.98	21.88	16.00	21.88	0.00
Usuarios	15.80	16.29	14.48	11.59	13.58	43.45	0.00	43.45	0.00
Promotor / Inversor	9.09	62.50	16.67	43.33	15.63	0.00	46.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	16.16	16.67	14.81	11.85	13.89	44.44	0.00	44.44	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Interés,  $B_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	69.23	20.00	0.00	33.33	33.33	53.33	43.33	100.00	0.00
Titular del Recurso	15.38	20.00	0.00	33.33	0.00	0.00	13.33	50.00	0.00
Empresas Suministradoras I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	46.15	50.00	100.00	100.00	33.33	33.33	13.33	50.00	0.00
Ayuntamiento	30.77	30.00	100.00	66.67	33.33	33.33	0.00	0.00	0.00
Usuarios	30.77	15.00	50.00	33.33	50.00	36.67	13.33	25.00	0.00
Promotor / Inversor	8.41	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29	18.29	5.47	0.00
Entidades Financieras	20.88	0.00	0.00	0.00	33.33	24.76	15.71	28.57	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## - Caso 3

Matriz de Relación entre Agentes,  $R_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Empresas Suministradora	10.00	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00	3.75	4.29	0.00
Gestor Medioambiental	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	10.00
Ayuntamiento	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63	6.57	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58	0.00	0.00
Promotor / Inversor	10.00	0.00	0.00	10.00	10.00	5.00	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes,  $C_{ij}$ .



	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	1.82	3.64	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	0.00	3.75	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	1.67	1.67	0.00	1.67	0.00	0.00	3.33	1.67	0.00
Gestor Medioambiental	1.33	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	2.67	0.67	0.00
Ayuntamiento	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	3.13	0.63	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Promotor / Inversor	1.60	1.20	1.60	1.60	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados,  $D_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.33	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	1.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	1.54	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00	1.33	5.00	0.00
Gestor Medioambiental	1.54	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	1.33	2.50	0.00
Ayuntamiento	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	1.67	2.50	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
Promotor / Inversor	3.08	3.00	10.00	6.67	3.33	3.33	0.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Influencia,  $I_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	4.55	0.00	1.67	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	59.09	14.06	69.64	26.19	45.65	37.50	44.00	37.50	0.00
Gestor Medioambiental	18.18	0.00	16.67	26.67	37.50	0.00	20.00	0.00	0.00
Ayuntamiento	20.45	21.09	46.37	32.71	52.94	56.25	16.00	56.25	0.00
Usuarios	13.01	13.42	11.93	9.54	11.18	35.79	0.00	35.79	0.00
Promotor / Inversor	9.09	62.50	33.33	56.67	46.88	0.00	62.00	0.00	0.00
Entidades Financieras	16.16	16.67	14.81	11.85	13.89	44.44	0.00	44.44	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Interés,  $B_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	84.62	50.00	100.00	100.00	33.33	66.67	30.00	75.00	0.00
Titular del Recurso	15.38	25.00	0.00	33.33	0.00	1.33	14.67	50.00	0.00
Empresas Suministradoras I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	46.15	50.00	100.00	100.00	33.33	33.33	13.33	50.00	0.00
Ayuntamiento	30.77	30.00	100.00	66.67	33.33	33.33	0.00	0.00	0.00
Usuarios	30.77	15.00	50.00	33.33	50.00	36.67	13.33	25.00	0.00
Promotor / Inversor	27.40	7.50	0.00	12.50	0.00	18.75	27.75	32.81	0.00
Entidades Financieras	47.25	8.57	0.00	14.29	33.33	41.90	30.00	62.86	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Matriz de Relación entre Agentes,  $R_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.86	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Empresas Suministradora	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00
Ayuntamiento	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	3.00	5.20	0.00
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.95	0.00	0.00
Promotor / Inversor	10.00	0.00	0.00	10.00	10.00	5.00	0.00	0.00	10.00
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Influyentes,  $C_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	1.82	3.64	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	0.00	3.75	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	1.67	1.67	0.00	1.67	0.00	0.00	3.33	1.67	0.00
Gestor Medioambiental	1.05	0.00	0.00	0.00	2.63	1.58	2.11	0.53	2.11
Ayuntamiento	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78	2.78	0.56	1.11
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Promotor / Inversor	1.43	1.07	1.43	1.43	1.79	1.79	0.00	0.00	1.07
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00

Matriz de Coeficientes de Agentes Interesados,  $D_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.21	0.00	0.00
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	0.91	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	1.54	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00	1.21	5.00	0.00
Gestor Medioambiental	1.54	0.00	0.00	0.00	3.33	2.00	1.21	2.50	4.44
Ayuntamiento	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	1.52	2.50	2.22
Usuarios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.00
Promotor / Inversor	3.08	3.00	10.00	6.67	3.33	3.33	0.00	0.00	3.33
Entidades Financieras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.00
Cooperativas Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00

Matriz de Influencia,  $I_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	74.03	29.46	42.86	16.54	21.83	78.57	10.71	78.57	78.57
Titular del Recurso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	18.18	0.00	16.67	21.05	33.33	0.00	17.86	0.00	0.00
Ayuntamiento	29.09	11.25	35.33	35.37	66.78	30.00	32.14	30.00	30.00
Usuarios	25.28	26.07	23.18	14.64	19.31	69.53	0.00	69.53	69.53
Promotor / Inversor	9.09	62.50	33.33	65.79	52.78	0.00	66.07	0.00	0.00
Entidades Financieras	16.16	16.67	14.81	9.36	12.35	44.44	0.00	44.44	44.44
Cooperativas Agrícolas	1.98	2.05	1.82	1.15	1.52	5.45	0.00	5.45	5.45

Matriz de Interés,  $B_{ij}$ .

	Gestor del Monte	Titular del Recurso	Empresas Suministradoras Biomasa	Gestor Medioambiental	Ayuntamiento	Usuarios	Promotor / Inversor	Entidades Financieras	Cooperativas Agrícolas
Gestor del Monte	69.23	30.00	100.00	66.67	33.33	66.67	15.15	25.00	55.56
Titular del Recurso	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	13.33	12.12	0.00	0.00
Empresas Suministradoras I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gestor Medioambiental	30.77	30.00	100.00	66.67	33.33	33.33	0.00	0.00	33.33
Ayuntamiento	30.77	30.00	100.00	66.67	33.33	33.33	0.00	0.00	33.33
Usuarios	69.23	15.00	50.00	33.33	50.00	70.00	27.27	50.00	83.33
Promotor / Inversor	11.54	39.29	0.00	0.00	0.00	20.48	31.83	7.50	6.67
Entidades Financieras	35.38	0.00	0.00	0.00	33.33	37.33	20.00	38.00	56.00
Cooperativas Agrícolas	30.77	30.00	100.00	66.67	33.33	33.33	0.00	0.00	33.33