

Trabajo Fin de Grado.
Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Análisis de eficiencia de empresas de saneamiento de
aguas en Andalucía.

Autor: Chozas de Alba, Luis.

Tutor: Rodríguez Palero, María.

Dpto. Organización Industrial y Gestión de
Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2022



Trabajo Fin de Grado.
Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Análisis de eficiencia de empresas de saneamiento de aguas en Andalucía.

Autor:

Luis Chozas de Alba.

Tutor:

María Rodríguez Palero.

Profesor Ayudante Doctor.

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Proyecto Fin de Carrera: Análisis de eficiencia de empresas de saneamiento de aguas en Andalucía.

Autor: Luis Chozas de Alba.

Tutor: María Rodríguez Palero.

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2022

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar, a mi tutora María, por su ayuda en la planificación e información en este Trabajo de Fin de Grado y su gran disponibilidad en el transcurso de este.

Agradecer a mi familia, a mi padre y a mi madre por permitirme estudiar fuera de mi casa, apoyarme en los momentos más difíciles y no dejar de confiar en mí cuando hasta yo no lo creía.

Agradecer a mis amigos, algunos de ellos compañeros de clases, por estar siempre cerca y saber alegrar los días malos.

También, expresar mi más sentido agradecimiento a la Escuela y los profesores que forman parte de ella, ya que en estos años he madurado y aprendido mucho.

Realizar este estudio ha tenido un gran impacto en mi persona y es por esto que me gustaría agradecer a todas las personas que han formado parte de esta gran etapa.

Luis Chozas de Alba

Sevilla, 2022

En este estudio se analizarán las empresas de saneamiento de aguas de la Comunidad Autónoma de Andalucía, con el objetivo de comparar la eficiencia de las variables que intervienen en este proceso del ciclo integral del agua, diferenciando el análisis de eficiencia por provincias como en la Comunidad Autónoma.

Para ello se van a analizar las cinco empresas más importantes por provincia, incluida la capital, para obtener los datos necesarios para el análisis de eficiencia de éstas. Una vez recopilados todos los datos, se realizará un análisis de eficiencia mediante Análisis por Envoltura de Datos (DEA) tanto por provincias como la totalidad de los municipios estudiados. Dicho análisis se realizará mediante el software EMS, donde al introducir los datos de las variables referidas al saneamiento muestra la eficiencia de cada una de las unidades productivas del estudio y otros aspectos importantes que se verán en dicho análisis.

El propósito del proyecto es mostrar la situación actual de las empresas encargadas del saneamiento de aguas en Andalucía y reflejar qué aspectos y variables hacen que la empresa en cuestión esté siendo más o menos eficiente para así poder servir como ayuda o apoyo para las empresas involucradas en el estudio.

Abstract

This study will analyze the water treatment companies of the Autonomous Community of Andalusia, with the aim of comparing the efficiency of the variables involved in this process of the integral water cycle, differentiating the efficiency analysis by provinces as in the Autonomous Community.

To this end, the five most important companies per province, including the capital, will be investigated in order to obtain the necessary data for their efficiency analysis. Once all the data has been collected, an efficiency analysis will be carried out by means of Data Envelopment Analysis (DEA) both by provinces and the totality of the municipalities studied. This analysis will be carried out using the EMS software, where the introduction of data on the variables related to sanitation will show the efficiency of each of the productive units in the study and other important aspects that will be seen in this analysis.

The purpose of the project is to show the current situation of the companies in charge of water sanitation in Andalusia and to reflect which aspects and variables make the company in question more or less efficient in order to serve as help or support for the companies involved in the study.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xii
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
1.1 <i>Antecedentes</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	2
1.3 <i>Trabajo a desarrollar</i>	2
1.4 <i>Estructura del documento</i>	2
2 Empresas de saneamiento de aguas	5
2.1 <i>Infraestructuras de las empresas de saneamiento de aguas. Ciclo integral del agua.</i>	5
2.1.1 Captación y aducción	6
2.1.2 Tratamiento	6
2.1.3 Abastecimiento	7
2.1.4 Saneamiento	7
2.1.5 Depuración	9
2.1.6 Fin del ciclo	10
3 Datos de las empresas de saneamiento	11
3.1 <i>Empresas seleccionadas</i>	11
3.1.1 Cádiz	11
3.1.2 Huelva	12
3.1.3 Córdoba	12
3.1.4 Jaén	13
3.1.5 Sevilla	14
3.1.6 Málaga	14
3.1.7 Granada	15
3.1.8 Almería	16
3.2 <i>Datos saneamiento por provincias</i>	16
3.2.1 Cádiz	17
3.2.2 Huelva	18
3.2.3 Córdoba	19
3.2.4 Jaén	20
3.2.5 Sevilla	21
3.2.6 Málaga	25
3.2.7 Granada	27
3.2.8 Almería	31
4 Análisis de Eficiencia mediante el Análisis por Envoltura de Datos	35
4.1 <i>Selección metodología DEA</i>	35

4.2	<i>Conceptos básicos metodología DEA.</i>	36
4.3	<i>Modelo de la metodología DEA a emplear: BCC-Output</i>	40
4.3.1	Modelo BCC-Output en forma multiplicadora	40
4.3.2	Modelo BCC-Output en forma envolvente	41
4.3.3	Método de las dos fases	42
5	Análisis DEA mediante EMS	45
5.1	<i>Funcionamiento Software EMS</i>	45
5.2	<i>Análisis DEA por provincias</i>	48
5.2.1	Cádiz	48
5.2.2	Huelva	50
5.2.3	Córdoba	52
5.2.4	Jaén	53
5.2.5	Sevilla	55
5.2.6	Málaga	57
5.2.7	Granada	58
5.2.8	Almería	60
5.3	<i>Análisis DEA municipios más eficientes</i>	62
5.4	<i>Análisis DEA municipios seleccionados</i>	65
5.5	<i>Análisis de eficiencia según el tipo de empresa</i>	70
6	Conclusiones	72
7	Referencias	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos saneamiento provincia de Cádiz.	17
Tabla 2. Ratios km red/Población provincia de Cádiz.	18
Tabla 3. Datos de saneamiento provincia de Huelva.	18
Tabla 4. Capacidad EDAR La Antilla (Huelva).	19
Tabla 5. Datos saneamiento provincia de Córdoba.	19
Tabla 6. Caudal diario aproximado provincia de Córdoba.	20
Tabla 7. Datos saneamiento provincia de Jaén.	20
Tabla 8. Longitud red de Saneamiento aproximada provincia de Jaén.	21
Tabla 9. Datos saneamiento provincia de Sevilla.	21
Tabla 10. Longitud Red de Saneamiento y caudal diario aproximado provincia de Sevilla.	22
Tabla 11. Capacidad EDAR San Jerónimo (Sevilla).	23
Tabla 12. Capacidad EDAR Tablada (Sevilla).	23
Tabla 13. Capacidad EDAR Rainilla (Sevilla).	23
Tabla 14. EDAR equivalente municipio de Sevilla.	23
Tabla 15. Cálculo longitud red saneamiento aproximada Utrera (Sevilla).	24
Tabla 16. Cálculo caudal aproximado Écija (Sevilla).	24
Tabla 17. Datos saneamiento provincia de Málaga.	25
Tabla 18. Cálculo red de saneamiento aproximada Mijas (Málaga).	25
Tabla 19. Cálculo EDAR y caudal diario equivalente ciudad de Málaga.	26
Tabla 20. Cálculo EDAR y caudal diario equivalente municipio de Mijas (Málaga).	26
Tabla 21. Cálculo caudal diario aproximado Estepona (Málaga).	26
Tabla 22. Datos saneamiento provincia de Granada.	27
Tabla 23. Cálculo longitud red de saneamiento y caudal diario aproximado EMASAGRA (Granada).	28
Tabla 24. Cálculo longitud de la red de saneamiento y caudal diario aproximado AyS Costa Tropical Granada.	28
Tabla 25. Capacidad EDAR Sur Granada.	29
Tabla 26. Capacidad EDAR de los Vados (Oeste) Granada.	30
Tabla 27. Capacidad EDAR sector Motril (Granada).	30
Tabla 28. Capacidad EDAR sector Almuñécar (Granada).	30
Tabla 29. Datos saneamiento provincia de Almería.	31
Tabla 30. Cálculo longitud red de saneamiento El Ejido (Almería).	31
Tabla 31. Capacidad EDAR Roquetas de Mar (Almería).	32
Tabla 32. Capacidad EDAR equivalente El Ejido (Almería).	32
Tabla 33. Cálculo caudal aproximado Níjar y Vícar (Almería).	33

Tabla 34. Eficiencia saneamiento provincia de Cádiz.	49
Tabla 35. Eficiencia saneamiento provincia de Cádiz (Supereficiencia).	50
Tabla 36. Eficiencia saneamiento provincia de Huelva.	51
Tabla 37. Eficiencia saneamiento provincia de Córdoba.	52
Tabla 38. Eficiencia saneamiento provincia de Córdoba (Supereficiencia).	53
Tabla 39. Eficiencia saneamiento provincia de Jaén.	54
Tabla 40. Eficiencia saneamiento provincia de Jaén (Supereficiencia).	54
Tabla 41. Eficiencia saneamiento provincia de Sevilla.	55
Tabla 42. Eficiencia saneamiento provincia de Sevilla (Supereficiencia).	56
Tabla 43. Eficiencia saneamiento provincia de Málaga.	57
Tabla 44. Eficiencia saneamiento provincia de Málaga (Supereficiencia).	58
Tabla 45. Eficiencia saneamiento provincia de Granada.	59
Tabla 46. Eficiencia saneamiento provincia de Granada (Supereficiencia).	59
Tabla 47. Eficiencia saneamiento provincia de Almería.	60
Tabla 48. Eficiencia saneamiento provincia de Almería (Supereficiencia).	61
Tabla 49. Eficiencia saneamiento de los dos municipios más eficientes por provincia.	62
Tabla 50. Eficiencia saneamiento de los dos municipios más eficientes por provincia (Supereficiencia).	64
Tabla 51. Eficiencia saneamiento Andalucía.	66
Tabla 52. Eficiencia saneamiento Andalucía (Supereficiencia).	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del ciclo integral del agua.	5
Figura 2. Etapas del ciclo integral del agua.	6
Figura 3. Procesos del Tratamiento en una ETAP.	7
Figura 4. ETAP El Bodonal (Tres Cantos, Madrid).	7
Figura 5. Red General de Saneamiento.	8
Figura 6. EDAR Sur (Madrid).	9
Figura 7. Representación del conjunto para una entrada y una salida de varias DMUs (CRS).	38
Figura 8. Representación del conjunto para una entrada y salida de varias DMUs (VRS).	39
Figura 9. Ejemplo de proyección de DMUs sobre envolvente en modelo VRS.	43
Figura 10. Ejemplo hoja de Excel con datos para cargar en EMS.	45
Figura 11. Software EMS (Inicio).	46
Figura 12. Run Model DEA (EMS).	46
Figura 13. Ejemplo de tabla generada por EMS.	47
Figura 14. Ejemplo de tabla generada por EMS (Supereficiencia).	48

1 INTRODUCCIÓN

“Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo.”

- Jacques Y. Cousteau. -

Cuando se habla del agua para el dominio público lo primero que se piensa es en el suministro de la misma, es decir la llegada del agua a nuestras viviendas, lugares de trabajo, lugares públicos, etc. Lo siguiente que se piensa es hacia donde se dirige el agua que se utiliza, del cual se encarga el saneamiento.

El saneamiento del agua es un problema que se ha tenido desde que los primeros seres humanos de la prehistoria comenzaron a realizar procesos productivos en un mismo lugar y en abundancia de personas. El agua utilizada, y las heces y desechos contaminaban el agua de los ríos, lagos, embalses.

No fue hasta el 4000 a.C. en Babilonia donde apareció la primera instalación de saneamiento conocida como el pozo ciego o pozo negro[1]. Consistía en una simple excavación donde se arrojaban los excrementos. Esta idea pronto se extendió a otros lugares. Las heces eran transportadas hacia los pozos negros a través del baldeo y las primeras tuberías de arcilla. Las aguas que contenían las heces se apodaron como las aguas negras, las compañeras inseparables de la civilización hasta nuestros días y la técnica asociada para convivir con ellas: el saneamiento.

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292 [2], la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y saneamiento, haciendo hincapié que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. La resolución obliga a los Estados y a las organizaciones internacionales a proporcionar los servicios de abastecimiento y saneamiento necesarios.

Hoy en día, los ayuntamientos son quienes se encargan de la gestión del agua en cada municipio. Tienen dos opciones: se encargan ellos mismos de toda la gestión o lo derivan a otras empresas. Las empresas encargadas pueden ser públicas, privadas, mixtas o municipales, en caso de que se encargue el propio ayuntamiento del municipio de la gestión del agua.

1.1 Antecedentes

Cabe destacar que no existe ningún trabajo que preceda sobre la temática de este. Hay muchos artículos que hablan sobre el saneamiento, pero ninguno habla en cuestión de la situación de las empresas de la comunidad autónoma de Andalucía, así como la medida de la eficiencia de tales empresas. En la actualidad existen muchas empresas que se dedican al abastecimiento y saneamiento de aguas. Cada año muchas de estas empresas que se van a tener en cuenta realizan mejoras e inversiones en el Plan de Abastecimiento y Saneamiento para tener una mayor eficiencia en el ciclo del agua. Además cada vez se están desarrollando más y mejores planes de sostenibilidad por parte de las empresas que se dedican al control y la gestión del agua, por lo tanto parece interesante estudiar la eficiencia de dichas empresas comparándolas por municipios de cada provincia en Andalucía. Así se puede ver su situación actual y respondernos a la pregunta de si son lo más eficiente posible, tanto para la propia empresa como para el medio ambiente.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del trabajo en cuestión es analizar y caracterizar las empresas encargadas del saneamiento en las ocho capitales de las provincias de Andalucía y de los cuatro municipios más importantes de cada provincia. Para conseguir dicho objetivo se van a realizar los siguientes objetivos:

- Comparar la eficiencia de las variables que afectan al saneamiento en los municipios de las distintas provincias de Andalucía. Para medir la eficiencia estudiaremos una serie de parámetros que están ligados a la red de saneamiento que se verá con detalle más adelante.
- Mostrar la situación actual de las empresas de saneamiento a través de los resultados obtenidos de la eficiencia de las empresas seleccionadas.
- A partir de la situación actual se puede clasificar las empresas dentro de un ranking, viendo cuáles son las de mayor eficiencia o las de menor.
- Analizar qué variables de las que depende el saneamiento hace que tenga una menor eficiencia para así poder modificar la variable en cuestión para obtener una mejora. Por tanto, este documento puede servir como ayuda las empresas seleccionadas.

1.3 Trabajo a desarrollar

En primer lugar, se llevará a cabo una recopilación de datos de las empresas para el posterior análisis de estas. Los datos en cuestión son las variables que afectan al saneamiento. Estas variables han sido elegidas al tener relación con la red de saneamiento.

Una vez recopilado todos los datos necesarios de cada empresa se pasará a estudiar su situación actual. Esta situación se calculará mediante el análisis envolvente de datos, también conocido por sus siglas en inglés DEA. Mediante esta técnica que posteriormente se comentará se puede medir la eficiencia de las empresas. Además, se calculará dicha eficiencia a través de una serie de ratios que también serán comentados posteriormente para así comparar con lo obtenido en DEA, y ver las similitudes y discrepancias entre las dos formas de obtener la eficiencia de las empresas.

Por último, se obtendrá una clasificación o ranking con las empresas ordenadas de mayor a menor eficiencia. Con esta clasificación se pretende conocer el estado actual de la empresa y poder dar una posible mejora variando alguno de los parámetros relacionados con dicha eficiencia.

1.4 Estructura del documento

En primer lugar se va a explicar el funcionamiento del ciclo integral del agua y cada una de las etapas que lo componen, para así entender alguno de los conceptos y procesos que se van a utilizar en el transcurso del documento. Después de la introducción del funcionamiento del agua dentro de las empresas dedicadas al control y gestión de esta, se va a comentar las empresas seleccionadas de cada provincia indicando su tipo de capital y otros aspectos interesantes. Posteriormente, se mostrarán los datos referidos al saneamiento necesarios para el análisis de eficiencia para cada uno de los municipios comentados. Acto seguido, se va a introducir el método seleccionado para el análisis de eficiencia, que como se verá más adelante es el DEA, explicando los conceptos

básicos para su correcta comprensión y el modelo que se va a utilizar. Una vez introducido el método de análisis se realizará el propio análisis donde se irán mostrando los resultados obtenidos. En último lugar, se termina con las conclusiones donde se comentan los resultados y aspectos más importantes del trabajo realizado.

2 EMPRESAS DE SANEAMIENTO DE AGUAS

Las empresas de saneamiento de agua son las que se encargan de controlar y gestionar el denominado ciclo integral del agua para una determinada población. El encargado del ciclo integral del agua en cada municipio es el mismo ayuntamiento, quien tiene la opción de gestionarlo a través de la misma entidad o derivarlo a empresas de dominio público, privado o mixtas. El ciclo integral del agua (Figura 1) es el proceso general que abarca los servicios de abastecimiento y saneamiento del agua, partiendo de la necesaria tarea de obtención de los recursos hídricos, y finalizando con la correcta devolución de las aguas residuales a la naturaleza.

Como se ha comentado anteriormente los encargados del ciclo del agua son los ayuntamientos, esto hace que existan diferentes formas de la gestión de dicho ciclo, pero el proceso es el mismo. Las diferentes formas de afrontar la gestión del agua se verán afectadas en el precio del agua que dependerá de varios factores, es decir, la gestión del agua afecta al precio. Tanto la diferencia en la realización del total de los procesos que lo componen, como la inversión de las infraestructuras donde se llevan a cabo los procesos son algunos de los factores que influyen en el precio del agua.

Ciclo integral del agua



Figura 1. Diagrama del ciclo integral del agua.

2.1 Infraestructuras de las empresas de saneamiento de aguas. Ciclo integral del agua.

Como se ha comentado el agua pasa por una serie de procesos durante el conocido ciclo integral del agua. Por tanto, para cada uno de los distintos tipos de procesos que intervienen en el ciclo, las empresas disponen de una

serie de infraestructuras para llevar a cabo sus objetivos. Estas etapas son captación, tratamiento, abastecimiento, saneamiento, depuración y el fin del ciclo. A continuación se muestra una imagen con las etapas del ciclo integral del agua (Figura 2), entre las que está como se puede observar la etapa de saneamiento. Se describen a continuación las diferentes etapas:

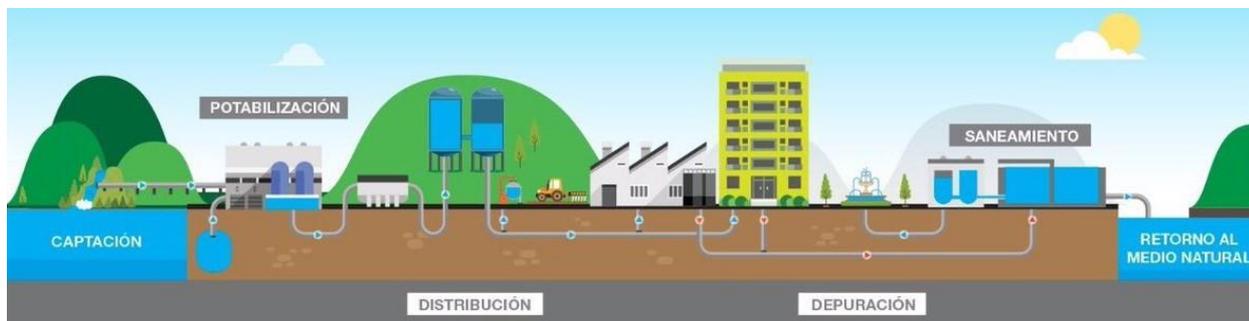


Figura 2. Etapas del ciclo integral del agua.

2.1.1 Captación y aducción

Es la primera etapa y por lo tanto la primera actividad de este tipo de empresas. La forma de la captación del agua puede ser muy variada dependiendo de dónde y cómo se obtenga. Distinguimos dos tipos de fuente de agua las convencionales y las no convencionales. Dentro de las no convencionales encontramos la reutilización y la desalación que a pesar de no ser muy comunes hay que tenerlas en cuenta. En las convencionales distinguimos las superficiales y las subterráneas. En las superficiales se encuentran los ríos, lagos, embalses, aguas pluviales, donde se elegirá uno u otro dependiendo de la disponibilidad que haya en la región dada. El agua también se puede obtener de manantiales y pozos que corresponden a las convencionales subterráneas. Cabe destacar que hay veces en que la empresa no dispone de suficientes fuentes de agua dulce en su territorio por lo que tiene que comprar agua tratada para satisfacer la demanda de agua dada o bien optar por aguas desalada como se ha comentado antes en el caso de fuentes de abastecimiento no convencionales.

Por tanto, el agua se recoge de alguno de los medios anteriormente mencionados donde se dirigen por bombeo a las plantas de tratamiento mediante tuberías, como se verá en el siguiente punto. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2018 el consumo medio de agua de los hogares en Andalucía fue de 128 litros por habitante al día, siendo la comunidad autónoma de España con el consumo medio de agua más alto [3].

2.1.2 Tratamiento

El agua recogida llega a las plantas de tratamiento donde se realizan una serie de procesos físicos y químicos para que sea apta para el consumo humano, es decir, agua potable. Los procesos se realizan en la estación de tratamiento de agua potable (ETAP) también conocida como potabilizadora. En la ETAP (Figura 4) se realizan una serie de procesos para convertir el agua bruta captada en agua potable cumpliendo requisitos de salud requeridos en la normativa en vigor. La legislación vigente actual sobre agua de consumo humano es el Real Decreto 140/2003 [4] donde se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano y el Real Decreto 902/2018 [5] que lo modifica. En la siguiente imagen (Figura 3) se muestran los distintos procesos que se realizan en una ETAP:

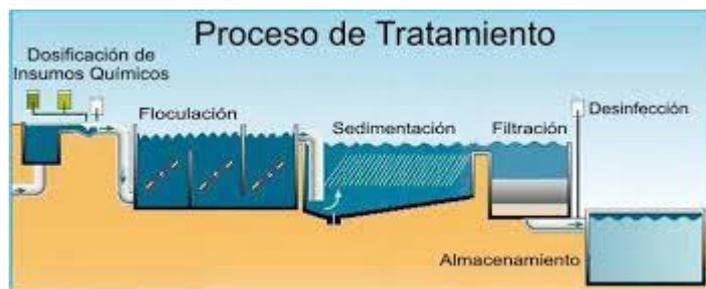


Figura 3. Procesos del Tratamiento en una ETAP.

Como se puede observar en la Figura 4 los procesos son los siguientes:

- Pretratamiento: dosificación de insumos químicos.
- Floculación – coagulación.
- Sedimentación - decantación.
- Filtración.
- Desinfección final.



Figura 4. ETAP El Bodonal (Tres Cantos, Madrid).

2.1.3 Abastecimiento

Tras la potabilización del agua, el agua potable se almacena en los depósitos destinados para tal fin. Se debe asegurar que la capacidad de los depósitos es suficiente para abastecer a la población necesaria. El agua almacenada pasa a la red de distribución o de abastecimiento donde llega a los hogares e industrias. Esta red de distribución transporta el agua mediante tuberías que están reguladas y controladas electromecánicamente. La finalidad de dicha regulación es conocer en todo momento que todo funcione correctamente, así como saber el momento de alguna avería, pérdida, etc. El agua llega a nuestros hogares a través de la acometida que es la parte de la instalación que enlaza la red general de abastecimiento con la instalación de agua de la vivienda.

2.1.4 Saneamiento

Como se comentó en el punto anterior el agua potable llega a las viviendas a través de la red de abastecimiento.

El agua potable es usada en los hogares e industrias para las actividades necesarias que requieran agua. El agua utilizada, es decir, el agua residual se desecha por los sumideros donde se incorporan a la red de alcantarillado. También se recogen las aguas pluviales que provienen de la precipitación. En la siguiente imagen (Figura 5) se muestra cómo funciona una red general de saneamiento:

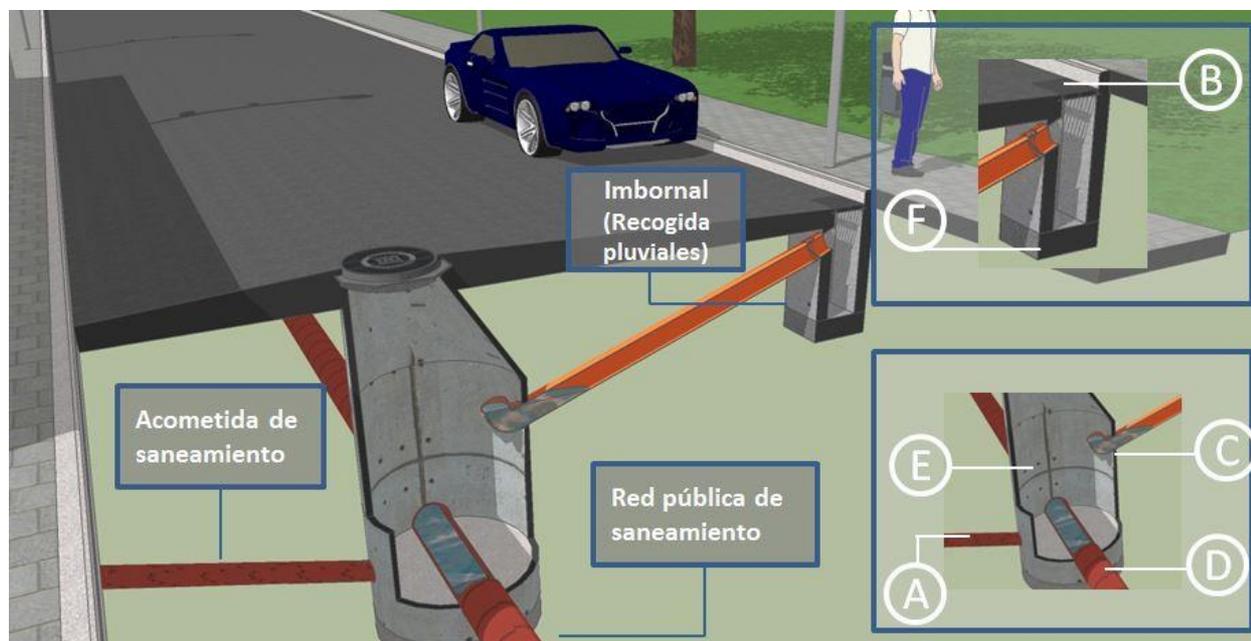


Figura 5. Red General de Saneamiento.

En la imagen podemos observar tres componentes importantes: acometida de saneamiento, imbornal y red pública de saneamiento.

La acometida de saneamiento es el elemento que conecta la instalación interior de la propiedad con la red pública de saneamiento. El agua residual es transportada por gravedad y sirve para enviar el agua utilizada por los usuarios que disponen de agua a la red general de saneamiento. La instalación depende del usuario y su mantenimiento por parte de la empresa.

El imbornal (recogida de aguas pluviales) es la rejilla ubicada en los laterales de las calles junto a la acera que normalmente conocemos como alcantarilla. Sirve para recoger el agua de la lluvia y además para que no se produzcan charcos e inundaciones en la calzada. La instalación y el mantenimiento corre a cuenta de la empresa encargada de la gestión del agua.

La red pública de saneamiento es el conjunto de tuberías que recogen el agua tanto de las acometidas de saneamiento como de los imbornales. Conducen las aguas residuales a las plantas de tratamiento de éstas, conocidas como las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), donde como veremos en el siguiente punto son tratadas y devueltas al medio ambiente en óptimas condiciones. Recorren casi todas las calles de la zona de abastecimiento enterradas en su zona central, que normalmente corresponde a debajo de la calzada. La instalación y el mantenimiento al igual que de los imbornales también corre a cuenta de la empresa encargada de la gestión del agua.

Al igual que la red de abastecimiento, la red de saneamiento también tiene que estar perfectamente controlada y regulada para poder hacer frente a pérdidas y averías.

En este apartado también hay que tener en cuenta las estaciones de bombeo de aguas residuales (EBAR). Las EBAR se encargan de elevar las aguas residuales cuando éstas no pueden ser transportadas por gravedad. El funcionamiento de una EBAR es el siguiente: el agua residual llega a la estación donde se recogen en pozos, una vez que se alcanza un nivel de agua determinado se activa la bomba y el agua es impulsada por una serie de tuberías hacia las EDAR.

2.1.5 Depuración

Como se ha comentado anteriormente las aguas residuales son recogidas mediante tuberías por la red pública de saneamiento donde se dirigen a las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Tales estaciones se encargan de la depuración de las aguas urbanas para poder ser reutilizada o bien devolverla al medio, causando el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Por tanto, su objetivo principal es convertir el agua “sucia” en agua limpia, eliminando todas las impurezas que se han ido acumulando durante el resto del ciclo urbano del agua. El agua residual desde que entra a las EDAR hasta que sale limpia tiene que sufrir una serie de procesos para su transformación. A continuación, se muestra la imagen de una EDAR genérica en la Figura 6:



Figura 6. EDAR Sur (Madrid).

En una EDAR los procesos o las fases esenciales son cuatro: el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario [6].

- Pretratamiento: es una etapa de preparación del agua eliminando los sólidos más grandes del agua a través de filtros. Se realizan desarenados, desbastes y desengrasantes.
- Tratamiento primario: el agua se transporta a un decantador primario para la eliminación por lo menos del 50% de los sólidos que se encuentran suspendidos que puedan sedimentarse y del 20% de materia orgánica. El agua se deja reposar en el decantador por unas horas y sólidos tienden a sedimentarse donde se transportan hacia un conducto de desagüe para ser utilizados posteriormente.
- Tratamiento secundario: trata de eliminar la materia orgánica asilada en el agua procedente de la etapa anterior. Se puede realizar de dos formas: con tratamientos químicos, el cual es más inusual al ser más agresivo; o bien usando microorganismos que eliminarán toda la materia orgánica. La posterior eliminación de los organismos se realizará en un decantador secundario mediante sedimentación. Esta etapa sólo se produce en EDARs de gran tamaño, en las de menor se une esta etapa con la anterior, donde el decantador primario actúa como estructura de sedimentación y descomposición a la vez.
- Tratamiento terciario: antes de terminar con el proceso de depuración del agua debemos comprobar que el agua queda totalmente limpia. El agua pasa por unos filtros sintéticos para eliminar los pequeños fragmentos de materia orgánica que no se pudieron eliminar en la anterior etapa. El agua pasa a unos estanques donde se desinfecta para que el agua limpia no se contamine con el exterior. Los métodos más comunes son mediante cloración, rayos ultravioleta u ozonización. Finalmente, el agua ya se encuentra lista para ser reutilizada o devuelta al medio natural.

El número de EDARs que haya en un municipio dependerá del volumen de agua residual con el que trabaje la empresa.

2.1.6 Fin del ciclo

Como se ha comentado anteriormente, una vez finalizado el proceso de depuración el agua se encuentra lista para ser reutilizada o vertirse al medio natural. Lo más común es que el agua se vierta al medio natural, pero cada vez es más común la reutilización de las aguas también conocidas como aguas regeneradas. Las aguas regeneradas necesitan unos tratamientos especiales en las EDARs. La reutilización de las aguas en España está regulada según el Real Decreto 1620/2007 [7] donde se debe obtener un permiso para hacer uso de las aguas regeneradas y una previa aprobación de las autoridades sanitarias.

Cabe destacar que cuanto mejores sean los tratamientos en las EDARs menor será el impacto del agua depurada en el medio. Cada vez las empresas están invirtiendo más en planes de sostenibilidad para así generar el menor impacto posible en el medio y una gestión eficiente y sostenible del agua.

3 DATOS DE LAS EMPRESAS DE SANEAMIENTO

Para la recopilación de datos de las empresas se han elegido 5 empresas por provincia de Andalucía. Se han elegido los 5 municipios más representativos, aunque en algunos casos se han elegido por otro criterio, como no disponer de los suficientes datos.

A continuación, se mostrarán las empresas seleccionadas por provincia, comentando su tipología, es decir, si es privada, pública o mixta, el porcentaje de participación, así también como si presta servicio a otros municipios a parte del que pertenece.

3.1 Empresas seleccionadas

Se mostrarán como hemos comentado previamente las empresas seleccionadas por provincia.

3.1.1 Cádiz

Los municipios que comentaremos a continuación han sido seleccionados por ser los más poblados, a excepción de San Fernando que ha sido cambiado por Chiclana de la Frontera. Ha parecido más interesante introducir Chiclana de la Frontera como uno de los municipios seleccionados ya que en verano se incrementa en más del doble. Es un dato importante ya que la red de saneamiento debe estar preparada para la temporada de verano.

1. Jerez: **Aquajerez** [8] (<https://www.aquajerez.es/>)

Aquajerez es una empresa privada que se dedica a la gestión del agua en el municipio de Jerez de la Fra., por lo tanto, cuenta con el 100% del control de la gestión del agua en Jerez. El ayuntamiento de Jerez derivó el servicio del agua a Aquajerez en 2013. Aquajerez es financiada por el Banco Santander.

2. Algeciras: **Emalgesa** [9] (<https://www.emalgesa.com/>)

La empresa municipal de Aguas de Algeciras S.A. (EMALGESA) es una empresa mixta que lleva controlando el abastecimiento y Alcantarillado en la ciudad de Algeciras desde 1995. EMALGESA cuenta con una participación por parte del Excelentísimo Ayuntamiento de Algeciras del 51% y un 49% de participación de FCC (Fomento de Construcciones y Contratas) Aqualia S.A.

3. Cádiz: **Aguas de Cádiz S.A.** [10] (<https://www.aguasdecadiz.es/>)

Corporación Municipal, con la forma de sociedad anónima de capital íntegro público. El Excmo. Ayuntamiento de Cádiz presta los servicios públicos locales que constituyen su objeto social a través de un proceso de gestión directa. Por lo tanto, el Excmo. Ayuntamiento es el que se encarga del total de la gestión y control del agua en el municipio de Cádiz.

4. El Puerto de Santa María: **Apensa** [11] (<https://www.apensa.es/>)

AGUAS DEL PUERTO EMPRESA MUNICIPAL S.A. es una empresa mixta municipal, en forma de sociedad anónima con carácter jurídico y patrimonio propio e independiente. El Excmo. Ayuntamiento cuenta con una participación del 51% y una participación del 49% de las empresas filiales de FCC, Aqualia y Trainsa. Tiene como objeto social el suministro de agua, el alcantarillado, el abastecimiento de agua potable, el tratamiento de aguas residuales y vertidos en el municipio del Puerto de Santa María.

5. Chiclana de la Fra.: **Chiclana Natural** [12] (<https://chiclananatural.com/>)

Chiclana Natural es la empresa municipal para la gestión del Ciclo Integral del Agua y Medio Ambiente en el municipio de Chiclana de la Fra. Es una empresa pública íntegramente perteneciente al Excmo. Ayuntamiento de Chiclana de la Fra. que lleva el control del agua en el municipio desde 1987.

3.1.2 Huelva

Los municipios seleccionados en la provincia de Huelva han sido todos elegidos en función del mayor número de habitantes sin excepción ninguna. Se muestran a continuación:

1. Huelva: **Aguas de Huelva** [13] (<https://www.aguashuelva.com/>)

Aguas de Huelva es una empresa mixta donde el Excmo. Ayuntamiento del municipio de Huelva cuenta con el 51% de las acciones y el restante 49% pertenece a Hidralia, Gestión Integral de Aguas de Andalucía, S.A. Aguas de Huelva cuenta con el apoyo de Suez S.A. (80%) y Unicaja (20%). La red de alcantarillado cubre el municipio de Huelva incluyendo la Autoridad Portuaria.

2. Lepe: **Aqualia** [14] (<https://www.aqualia.com/>)

El Excmo. Ayuntamiento de Lepe derivó la gestión del ciclo integral del agua al completo a la empresa mundial Aqualia. Por lo tanto, la gestión del agua el Lepe pertenece al 100% a Aqualia, empresa privada. Como se ha comentado, Aqualia es una empresa mundial, pero sólo veremos el saneamiento en cuanto se refiere al municipio de Lepe.

3. Almonte: **Aqualia** (<https://www.aqualia.com/>)

Al igual que con Lepe, el municipio de Almonte derivó la gestión del ciclo integral del agua a la empresa privada Aqualia en su totalidad. Como hemos comentado en el municipio anterior sólo trataremos la red de saneamiento en el municipio de Almonte.

4. Moguer: **Aqualia** (<https://www.aqualia.com/>)

El Excmo. Ayuntamiento de Moguer también concendió en 2010 la totalidad de la gestión del ciclo integral del agua en el municipio, al igual que como hemos comentado anteriormente los municipios de Lepe y Almonte. Por tanto, el saneamiento forma parte al 100% de la empresa mundial Aqualia. Cabe destacar que el contrato firmado con Aqualia para la concesión del agua en Moguer también afecta a Mazagón, núcleo de población perteneciente a los municipios de Moguer y Palos de la Fra.

5. Aljaraque: **Giahsa** [15] (<https://www.giahsa.com/>)

Giahsa es una sociedad mercantil de naturaleza pública creada por la Mancomunidad de Servicios de la Provincia de Huelva. Giahsa gestiona el ciclo integral del agua en el municipio de Aljaraque y en muchos más de la costa de Huelva. Por tanto, la gestión del agua en el municipio de Aljaraque pertenece al 100% a la empresa pública Giahsa. Al igual que en el resto de los municipios comentados anteriormente sólo trataremos la gestión del saneamiento en Aljaraque.

3.1.3 Córdoba

Al igual que en la provincia de Huelva, en Córdoba todos los municipios han sido seleccionados en función del mayor número de habitantes. A continuación, se muestran los municipios elegidos:

1. Córdoba: **EMACSA** [16] (<https://www.emacsa.es/>)

EMACSA es la empresa privada municipal de aguas de Córdoba, en forma de sociedad anónima, por la cual el Excmo. Ayuntamiento de la ciudad de Córdoba presta los servicios públicos locales que constituyen su objeto social por el procedimiento de gestión directa. Por tanto, la gestión del agua en Córdoba pertenece al 100% al Excmo. Ayuntamiento de Córdoba.

2. Lucena: **Aguas de Lucena** [17] (<http://www.aguasdellucena.es/>)

Aguas de Lucena es una sociedad limitada de capital íntegramente municipal. El ayuntamiento de Lucena derivó la gestión del agua a la empresa privada Aguas de Lucena en 2007. Por tanto, la gestión

completa del ciclo del agua en la localidad de Lucena es por parte de dicha empresa privada.

3. **Puente Genil: Aqualia** (<https://www.aqualia.com/>)

En la localidad de Puente Genil el control y la gestión del ciclo integral del agua es dirigida por la empresa mundial Aqualia. Aqualia como se ha visto anteriormente en otros municipios es una empresa privada. El Excmo. Ayuntamiento de Puente Genil derivó hace más de 25 años a Aqualia el control del agua en su totalidad. En 2021 finalizaba el contrato de la gestión del agua con Aqualia y se renovó el contrato con dicha empresa, que como se ha comentado, hoy en día lleva la gestión del agua en el municipio de Puente Genil.

4. **Montilla: Aguas de Montilla** [18] (<https://www.aguasdemontilla.es/>)

Aguas de Montilla es una empresa mixta que gestiona el ciclo integral del agua en el municipio de Montilla. El Excmo. Ayuntamiento cuenta con el 51% de las acciones y el restante 49% forma parte de Hidralia, Gestion Integral de Aguas de Andalucía, S.A. Fue creada en 2005 y tiene compromiso de gestionar el agua en la localidad durante los próximos 25 años.

5. **Priego de Córdoba: Aguas de Priego** [19] (<http://aguasdepriego.com/>)

La empresa municipal Aguas de Priego S.L. es una empresa mixta creada en 2010 para la gestión del agua en la localidad de Priego de Córdoba y el resto de las pedanías que componen el municipio. Es una empresa mixta donde el 51% de las acciones forma parte del ayuntamiento de Priego de Córdoba y el restante 49% pertenece al socio tecnológico FCC Aqualia S.A. Los datos del saneamiento que se verán más adelante serán referidos tanto a la localidad como al resto de pedanías que la completan por facilidad.

3.1.4 Jaén

Continuando con la misma idea a la hora de seleccionar los municipios, el mayor número de habitantes. Hay una excepción y es el caso de Martos que ha sido sustituida por Alcalá la Real, al haber más datos referidos al saneamiento. Los municipios seleccionados son los siguientes:

1. **Jaén: SOMAJASA** [20] (<https://www.somajasa.es/>)

En el municipio de Jaén se encarga de la gestión del agua la Sociedad Mixta del Agua de Jaén, S.A. (SOMAJASA). Es una empresa mixta constituida por la Excmo. Diputación Provincial de Jaén y la empresa privada Acciona Agua, S.A. Cabe destacar que SOMAJASA se encarga de la gestión del agua en más de 45 municipios de la provincia de Jaén, donde se encuentra incluido como se ha comentado el municipio de Jaén, pero en cuanto a datos solo veremos los pertenecientes a la localidad.

2. **Linares: Linaqua** [21] (<https://www.linaqua.es/>)

La empresa municipal de aguas de Linares, S.A. (Linaqua) es una empresa mixta que fue creada en 2007 para la gestión del ciclo integral del agua en la localidad de Linares. En cuanto a participación, el Excmo. Ayuntamiento de Linares cuenta con un 51% de las acciones y su socio tecnológico FCC Aqualia, S.A. con el restante 49%.

3. **Andújar: SOMAJASA** (<https://www.somajasa.es/>)

Como se comentó en el municipio de Jaén, SOMAJASA se encarga de la gestión del agua en más de 45 municipios, entre ellos Andújar. Al igual que en la localidad de Jaén, los datos que se verán más adelante referidos al saneamiento serán solo del municipio de Andújar.

4. **Úbeda: Acciona Agua, S.A.** [22] (<https://www.acciona.com/es/soluciones/agua/>)

Desde 2011 la empresa Acciona Agua se compromete con el Ayuntamiento de Úbeda a la gestión del agua en el municipio durante los próximos 25 años. Por tanto, la gestión del agua pertenece al 100% a la empresa privada Acciona Agua.

5. **Alcalá la Real: Adalsa** [23] (<http://www.adalsa.es/>)

La empresa Aguas de Alcalá la Real, S.A. (Adalsa) es una empresa pública mercantil para la explotación

del agua y alcantarillado constituida en 1993. La gestión del agua por tanto forma parte al 100% del Excmo. Ayuntamiento de Alcalá la Real.

3.1.5 Sevilla

Al igual que con las demás provincias el criterio de selección vuelve a ser la mayor población de habitantes, a excepción de Mareina que ha sido sustituida por Écija, de nuevo por la facilidad a la hora de encontrar los datos referidos al saneamiento de la localidad. Los municipios elegidos son los que se muestran a continuación:

1. Sevilla: **EMASESA** [24] (<https://www.emasesa.com/>)

La Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A. (EMASESA) pasó a ser Metropolitana en 2007. A partir de ahí, los Ayuntamientos de las poblaciones a los cuales prestaba su servicio pasan a ser accionistas de la compañía y miembros del Consejo de Administración. No sólo es Sevilla gestionada por EMASESA sino también todas las poblaciones que pertenecen a su Consejo de Administración. Los municipios gestionados por EMASESA son algunos de los que veremos entre los 4 restantes seleccionados, como es el caso de Alcalá de Guadaíra y Dos Hermanas. Los datos que veremos más adelante sobre el saneamiento sólo serán referidos al municipio de Sevilla.

2. Dos Hermanas: **EMASESA** (<https://www.emasesa.com/>)

Como hemos comentado en el municipio de Sevilla, el ciclo integral del agua en Dos Hermanas es gestionado por la EMASESA. Dos Hermanas pertenece a EMASESA desde 1987, donde el Ayuntamiento de la localidad aprobó el suministro por parte de la empresa. Sin embargo, no fue hasta 1993 cuando se amplió la gestión de saneamiento y depuración por parte de la misma. Al igual que con la localidad de Sevilla, los datos de saneamiento que se mostrarán más adelante serán referidos únicamente al municipio de Dos Hermanas.

3. Alcalá de Guadaíra: **EMASESA** (<https://www.emasesa.com/>)

El ciclo integral del agua en el municipio de Alcalá de Guadaíra como hemos comentado previamente también es gestionado por EMASESA. Alcalá de Guadaíra pertenece a EMASESA desde 1987, que a diferencia de Dos Hermanas, en ese mismo año a parte de la aprobación de la delegación de las competencias de abastecimiento de agua, también se aprobó a su vez la de saneamiento y depuración.

4. Utrera: **Aguas del Huesna** [25] (<http://www.aguasdeltahuesna.com/es/>)

Aguas del Huesna, S.L., es una empresa pública propiedad del Consorcio de Aguas del Huesna cuyo objeto social es gestionar del ciclo integral del agua en los municipios incluidos en el Consorcio. Aguas del Huesna gestiona 18 municipios de la provincia de Sevilla, entre ellos Utrera. La inversión fue realizada por la Junta de Andalucía, la Diputación de Sevilla y el propio Consorcio, donde se garantiza la correcta y completa gestión del agua en los municipios seleccionados.

5. Écija: **Aqua Campiña** [26] (<https://www.xn--aquacampia-19a.es/>)

Aqua Campiña, S.A. es una Sociedad mixta formada en 2001 y firmada durante 25 años para gestionar el abastecimiento de agua en baja y el alcantarillado en el municipio de Écija. La empresa está formada por el Excmo. Ayuntamiento de Écija con un 51% de participación y el socio tecnológico Aqualia con el 49% restante. Aqualia como hemos comentado anteriormente es una empresa privada perteneciente al grupo FCC. No fue hasta 2012 cuando se amplió el contrato con el Ayuntamiento de Écija para que Aqua Campiña tratase también la gestión de la EDAR, completando así la empresa la gestión completa del ciclo integral del agua

3.1.6 Málaga

Para la provincia de Málaga se han escogido también los municipios con mayor número de habitantes censados, a excepción de Fuengirola que se ha cambiado por Estepona. Se ha introducido Estepona al

tener más datos sobre el saneamiento que los aportados por Fuengirola.

1. Málaga: **EMASA** [27] (<https://www.emasa.es/>)

EMASA es la empresa municipal de aguas de Málaga. EMASA es una empresa municipal en forma de sociedad anónima que se fundó en 1987. Al comienzo su única función era suministrar agua y con los años gestionan el ciclo total del agua, incluyendo el saneamiento. Por tanto, el ciclo integral del agua en Málaga es gestionado por el propio ayuntamiento.

2. Marbella: **Acosol** [28] (<https://www.acosol.es/>)

El Excmo. Ayuntamiento de Marbella derivó la gestión del ciclo integral del agua en su totalidad a la empresa privada de Hidralia. No obstante, Hidralia derivó a su vez la gestión del agua a la empresa Acosol. Acosol es una empresa pública perteneciente a la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental que gestiona el ciclo integral del agua dentro de su ámbito geográfico, donde se incluye al municipio de Marbella. Los datos serán proporcionados por la empresa Hidralia.

3. Mijas: **Acosol** (<https://www.acosol.es/>)

En Mijas el agua es gestionada en su totalidad por la empresa pública Acosol. A diferencia de Marbella donde trabajan conjuntamente Acosol e Hidralia, en Mijas el ciclo integral del agua es gestionado en solitario por Acosol.

4. Vélez-Málaga: **Aqualia** (<https://www.aqualia.com/>)

Aqualia como hemos visto anteriormente es una empresa privada que gestiona el ciclo integral del agua a nivel mundial. Empezó a gestionar el Servicio Municipal de Aguas en Vélez-Málaga a mediados de 2005. Por tanto, el agua es gestionada al completo por Aqualia.

5. Estepona: **Acosol** (<https://www.acosol.es/>)

En el municipio de Estepona la gestión del agua es similar a la gestión de Marbella. El Excmo. Ayuntamiento de Estepona derivó su actividad a Hidralia, y ésta a su vez dejó la responsabilidad a cargo de la empresa pública Acosol, ya que también pertenece a su ámbito demográfico.

3.1.7 Granada

Para la selección de los 5 municipios como se ha comentado previamente ha sido por mayor número de habitantes. En el caso de Maracena, que es el quinto municipio de la provincial de Granada con más habitantes, se va a sustituir por el municipio de Las Gabias, al disponer de más datos. Los municipios son los siguientes:

1. Granada: **EMASAGRA** [29] (<https://www.emasagra.es/>)

EMASAGRA es la empresa mixta que se encarga del Servicio Municipal de Aguas en el municipio de Granada. El Excmo. Ayuntamiento de Granada posee el 51% de las acciones y el 49% restante lo constituye Hidralia, Gestión Integral de Aguas de Andalucía S.A. Es la empresa de referencia en la provincial de Granada desde 1982.

2. Motril: **Aguas y Servicios de la Costa Tropical de Granada AIE** [30] (<https://www.aguasyservicios.es/>)

Aguas y Servicios de la Costa Tropical de Granada AIE, como indican sus siglas AIE (Agrupaciones de Interés Económico) se constituyó mediante la unión de dos empresas de este país: Aqualia, empresa del grupo FCC, y Acciona División de Aguas. La empresa presta servicio a Motril y a dos localidades más que pertenecen al sector Motril como indica la propia empresa. Las localidades son Castell de Ferro y Lujar, por tanto, los datos en cuanto a Motril serán referidos al denominado sector Motril.

3. Almuñécar: **Aguas y Servicios de la Costa Tropical de Granada AIE** (<https://www.aguasyservicios.es/>)

El ciclo integral del agua en el municipio de Almuñécar también es gestionado por la AIE comentada. La empresa trabaja en cuatro sectores diferentes, donde entre ellos se encuentra Almuñécar. Los cuatro sectores son: Motril, Almuñécar, Salobreña y Contraviesa. Como se vio en el municipio de Motril, los sectores incluyen a parte del municipio al que hace referencia el nombre, varias localidades pequeñas

que se encuentran cerca del mismo. El sector Almuñécar incluye a las localidades de Jete, Otivar y Lentejé.

4. Armilla: **EMASAGRA** (<https://www.emasagra.es/>)

El ciclo integral del agua en Armilla es gestionado por la empresa mixta EMASAGRA. EMASAGRA no sólo gestiona el municipio de Granada, sino que además presta sus servicios a 14 municipios más, donde entre uno de ellos se encuentra Armilla.

5. Las Gabias: **EMASAGRA** (<https://www.emasagra.es/>)

La empresa mixta EMASAGRA se encarga también de la gestión del ciclo integral del agua en el municipio de Las Gabias. Forma parte de otro de los 14 municipios a los que la empresa gestiona el agua como se ha comentado anteriormente.

3.1.8 Almería

Los municipios seleccionados en la provincia de Almería siguen el mismo patrón que en todas las provincias anteriormente vistas, es decir, el mayor número de habitantes censados. Los municipios son los siguientes:

1. Almería: **Aqualia** [31] (<https://www.aqualia.com/web/aqualia-almeria/home>)

El Excmo. Ayuntamiento de Almería derivó la gestión del ciclo integral del agua en su totalidad a la empresa Aqualia en 1993. Previamente, en 1981 Aqualia inició las actividades de mantenimiento y explotación de la Antigua EDAR de Costacabana. Por tanto, en el municipio de Almería el 100% del ciclo urbano del agua es gestionado por Aqualia.

2. Roquetas de Mar: **Hidralia** [32] (<https://www.hidralia-sa.es/>)

La gestión del ciclo urbano del agua en el municipio de Roquetas de Mar pertenece a la empresa andaluza Hidralia, S.A. El Excmo. Ayuntamiento de Roquetas de Mar concedió la totalidad de la gestión del agua a Hidralia.

3. El Ejido: **Aguas de El Ejido** [33] (<https://www.aguasdeejido.es/>)

Aguas de El Ejido es una empresa mixta que se encarga del Servicio Municipal de Aguas en el municipio de El Ejido. Es una sociedad anónima que se encuentra inscrita en el Registro Mercantil de la provincial de Almería.

4. Níjar: **EMANAGUA**

EMANAGUA es una empresa mixta que se encarga del Servicio Municipal de Aguas en el municipio de Níjar. La empresa mixta está participada por el Excmo. Ayuntamiento y Aqualia, empresa del grupo FCC. EMANAGUA no dispone de página web.

5. Vícar: **Ayuntamiento de Vícar** [34] (<https://www.vicar.es/>)

La gestión integral del ciclo del agua en Vícar es gestionada a través del Excmo. Ayuntamiento de Vícar. Por tanto, el 100% de la gestión del suministro y saneamiento de agua corre a cuenta del propio ayuntamiento.

3.2 Datos saneamiento por provincias

A continuación se mostrará en tablas los datos referidos al saneamiento para cada municipio mencionado anteriormente. Se mostrará una tabla por provincia para tener una mayor visualización y además así diferenciar entre las distintas provincias para tener una correcta ordenación y claridad.

Los datos referidos al saneamiento son los siguientes:

- Kilómetros de red de saneamiento: longitud de la red de saneamiento del municipio en km.

- Metros cúbicos de agua tratada: caudal de agua residual y pluvial tratada en metros cúbicos al día del municipio en cuestión.
- EDAR: capacidad de la estación depuradora de aguas residuales en habitantes equivalentes como medida para establecer la carga contaminante del agua residual bruta.
- Población servida: total de habitantes partícipes en la generación de las aguas residuales del municipio.

Cabe destacar que en muchos municipios se desconoce el dato de alguna de las variables y se va a calcular de manera aproximada como se verá en detalle posteriormente en cada una de las provincias. De los 40 municipios seleccionados, se conocen los datos al completo de 18 municipios. De otros 20 municipios se desconocen un dato de los cuatro mencionados anteriormente y se va a calcular de forma aproximada y los últimos dos municipios serán descartados como se verá más adelante por la falta de datos.

3.2.1 Cádiz

La siguiente tabla (Tabla 1) muestra los datos referidos al saneamiento mencionados anteriormente para los cinco municipios seleccionados de la provincia de Cádiz. Además se muestra en la tabla el tipo de empresa: pública, mixta o privada.

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Jerez de la Frontera	Aqua Jerez	Privada	631,37	864000	53276,25	213105
Algeciras	Emalgesa	Mixta	443,57	212500	29000	123078
Cádiz y San Fernando	Aguas de Cádiz + Hidralia	Pública	372	375000	75000	210306
El Puerto de Santa María	Apensa	Mixta	416	180000	27000	88703
Chiclana de la Frontera	Chiclana Natural	Pública	425,28	88750	24972	85150

Tabla 1. Datos saneamiento provincia de Cádiz.

De los 5 municipios más importantes de la provincia de Cádiz, sólo hay una empresa privada que se encarga de la gestión del ciclo integral del agua: la empresa Aqua Jerez perteneciente a la localidad de Jerez de la Frontera. En la Tabla 1 los municipios están ordenados de mayor a menor población. En cuanto a la longitud de la red de saneamiento, no se ha encontrado el dato en el municipio de Algeciras. A través del informe anual del año 2020 “The governance of water services in Europe” [35] se establece un valor de 4.03 metros de tubería de saneamiento por persona en España. Por lo tanto, multiplicando dicho valor por el número de habitantes de la localidad y dividido por mil para obtener la medida en kilómetros, se tiene la longitud de la red de saneamiento aproximada. Además se ha calculado la media del ratio metro de red de saneamiento partido de población de los 4 municipios que sí tienen el dato de su red de saneamiento. Se obtiene como media un valor inferior al dado por el informe comentado anteriormente, resultado 3.60 metros de tubería de saneamiento por habitante para la provincia de Cádiz. Por consiguiente se van a usar dichas aproximaciones al encontrarse la media calculada algo alejada de la proporcionada por el informe anteriormente comentado. Por tanto, multiplicando los 3.60 metros de tubería por la población de Algeciras y dividido por mil para pasarlo a km, se obtiene el valor aproximado de la red de saneamiento de la localidad de Algeciras que se va a tener en cuenta para el caso de estudio. La tabla siguiente (Tabla 2) muestra el ratio de metros de red de saneamiento partido por población de cada localidad y en la siguiente columna en tanto por ciento para una mejor visualización.

Se puede observar que el que posee mayor longitud es el de la localidad de Jerez de la Frontera, seguido de Chiclana de la Frontera y El Puerto de Santa María, que a pesar de tener mucha menor población poseen una extensa red de saneamiento en comparativa ratio metros de red partido de población. Los ratios metros de red de saneamiento partido de población se muestran en la Tabla 2:

Municipio	Empresa	Tipo	Ratio metros de red/Población
Jerez de la Frontera	Aqua Jerez	Privada	2,96
Algeciras	Emalgesa	Mixta	3,60
Cádiz y San Fernando	Aguas de Cádiz + Hidralia	Pública	1,77
El Puerto de Santa María	Apensa	Mixta	4,69
Chiclana de la Frontera	Chiclana Natural	Pública	4,99

Tabla 2. Ratios km red/Población provincia de Cádiz.

Tiene sentido que el ratio km de red de saneamiento partido de población para Algeciras sea de 3,6, ya que es la media calculada del resto de municipios. Se puede observar que las localidades de El Puerto de Santa María y Chiclana de la Frontera poseen unos ratios de mayor orden que los restantes, esto se debe a que son municipios muy extensos, por lo que hace falta redes de saneamiento de mayor longitud para recoger las aguas residuales de todas las zonas de la localidad. Sin embargo Cádiz y San Fernando, que poseen un mayor número de habitantes, tienen una red de saneamiento mucho menor debido a que su territorio es menos extenso y se encuentra más concentrado.

Volviendo a los datos aportados por la Tabla 1, se puede ver como la EDAR de Jerez de la Frontera cuyo nombre es EDAR Guadalete es la de mayor capacidad con un valor 864.000 h.e. Le sigue la EDAR compartida de Cádiz y San Fernando con un valor de 375.000, número bastante inferior a la anterior y a pesar de tener una población bastante similar. Por último, se encuentran los municipios de Algeciras, El Puerto de Santa María y Chiclana de la Frontera con valores de 212.500 h.e., 180.000 h.e. y 88.750 h.e. respectivamente.

Por tanto, para el cálculo de la eficiencia mediante DEA para la provincia de Cádiz, se tendrá en cuenta los cinco municipios seleccionados ya que se dispone de todos los datos necesarios.

3.2.2 Huelva

En cuanto a la provincia de Huelva, sólo se ha encontrado todos los datos necesarios en la ciudad de Huelva, para las localidades de Lepe y Almonte no se ha encontrado el dato de la red de saneamiento, y para las dos restantes, Moguer y Aljaraque no se ha encontrado el dato de la red de saneamiento ni de el caudal diaria de agua tratada. En cuanto a las localidades de Lepe y Almonte, se ha calculado la red de saneamiento de forma aproximada. Se ha calculado de la forma que se comentó en el punto anterior, mediante el dato de los metros de tubería de saneamiento por habitante en España. Por lo tanto, se ha multiplicado el valor de 4.03 metros por los habitantes de cada localidad y dividido por mil, obteniendo la longitud de la red de saneamiento en km. Para las localidades de Moguer y Aljaraque no se ha calculado porque como se ha comentado además falta el dato del caudal diario de agua depurada, y por consiguiente, los datos serían muy aproximados obteniendo un resultado que podría distar mucho del real. En la siguiente tabla (Tabla 3) se muestran los datos referidos a las cinco localidades elegidas para la provincia de Huelva:

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Huelva	Aguas de Huelva	Mixta	380,00	311400	32783,74	142538
Lepe	Aqualia	Privada	298,47	600000	13701,47	74062
Almonte	Aqualia	Privada	99,05	90000	7994	24577
Moguer	Aqualia	Privada	-	26875	-	22061
Aljaraque	Giahsa	Pública	-	92000	-	21706

Tabla 3. Datos de saneamiento provincia de Huelva.

La empresa privada Aqualia se encarga de la gestión total del ciclo integral del agua en las localidades de Lepe, Almonte y Moguer, la empresa pública Giahsa en la localidad de Aljaraque y la gestión del agua en la ciudad de Huelva es gestionada por una empresa mixta. Como se ha comentado anteriormente, faltan los datos de la longitud de la red de saneamiento de las localidades de Moguer y Aljaraque; y las de Lepe y Almonte se han calculado de forma aproximada. La EDAR de Lepe, cuyo nombre es EDAR La Antilla tiene una capacidad de 600.000 h.e. debido a que recoge las aguas residuales de varias localidades de la costa de Huelva, incluyendo a Lepe. Las localidades y pedanías son las siguientes: Lepe, La Antilla, Cartaya, Islantilla, La Redondera, Isla Cristina, Urbasur, Pozo del Camino y Villa Antonia. Por lo tanto, se ha calculado la capacidad equivalente al número de habitantes del municipio de Lepe, como se muestra en la Tabla 4. Además de recoger el agua residual de las localidades y pedanías mencionadas, estos pueblos incrementan en verano su población, por lo que dicha

EDAR está preprada para tratar grandes cantidades de aguas residuales. Las aguas residuales de Almonte se recogen en la EDAR de Matalascañas. La estación depuradora de Almonte tiene una gran capacidad debido a que es un municipio que en verano incrementa mucho su población, por lo que debe estar preparada para dichas fechas.

EDAR La Antilla	EDAR	Población
Lepe	229.210,66	28.293,00
La Antilla	13.026,92	1.608,00
Cartaya	162.698,82	20.083,00
Islantilla	6.505,36	803,00
La Redondela	10.029,43	1.238,00
Urbasur	2.001,03	247,00
Isla Cristina	170.751,53	21.077,00
Pozo del Camino	2.803,06	346,00
Villa Antonia	2.973,18	367,00
Total	600.000,00	74.062,00

Tabla 4. Capacidad EDAR La Antilla (Huelva).

Para el cálculo de la eficiencia mediante DEA para la provincia de Huelva, sólo se estudiará en las localidades de Huelva, Lepe y Almonte, ya que son los únicos tres municipios de los cuales se han obtenido los datos al completo.

3.2.3 Córdoba

Para la provincia de Córdoba, de las cinco localidades más importantes, sólo falta el dato del caudal diario de agua tratada para la localidad de Puente Genil. Para calcularlo de forma aproximada se ha calculado el caudal diario por habitante para la localidad y luego a ese resultado se le ha calculado la media. Se ha obtenido una media de $0.18 m^3$ de agua residual al día por habitante. Luego, para calcular el caudal diario de la localidad de Puente Genil, se ha multiplicado ese valor por el número de habitantes de la localidad en cuestión. Los datos referidos a las variables de la provincia de Córdoba se muestran en la Tabla 5:

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Córdoba	EMACSA	Pública	868,5	783000	75139	322071
Lucena	Aguas de Lucena	Pública	74,10	41300	8219,2	42712
Puente Genil	Aqualia	Privada	98,9	45000	5404,47	29767
Montilla	Aguas de Montilla	Mixta	96,5	33700	3735,87	22633
Priego de Córdoba	Aguas de Priego	Mixta	88,16	28000	3013,7	22251

Tabla 5. Datos saneamiento provincia de Córdoba.

La gestión del ciclo integral del agua en la provincia de Córdoba, como se puede observar es gestionada por una empresa privada (Aqualia), dos empresas mixtas (Aguas de Montilla y Aguas de Priego) y dos empresas públicas (EMACSA y Aguas de Lucena). La red de saneamiento más extensa es obviamente la de la ciudad de Córdoba, ya que es la que posee mayor extensión. Las siguientes son las localidades de Puente Genil y Montilla, cuyas redes tienen una longitud similar de 98.9 y 96.5 km respectivamente. Priego de Córdoba ocupa el penúltimo lugar en cuanto a longitud de su red de saneamiento, con un valor de 88.16 km. Por último, la ciudad de Lucena con una longitud de la red de 74.10 km. La pequeña longitud de la red de saneamiento de Lucena en comparación con las demás, es debido a que la ciudad posee una menor extensión que las restantes, y la población se encuentra más concentrada, a diferencia de Puente Genil, Montilla y Priego de Córdoba, que a pesar de tener un menor número de habitantes, son localidades con una mayor extensión demográfica. En cuanto a las EDARs, la EDAR

de Córdoba es la que mayor capacidad tiene con un valor de 783.000 h.e. Se puede observar que las restantes ciudades tienen una capacidad mucho menor que la ciudad de Córdoba. En primer lugar se debe a que posee un elevado número de habitantes en comparación con las demás. Además, la EDAR de Córdoba recoge aguas residuales de pequeños pueblos que colindan con su territorio. No se ha tenido en cuenta los pueblos mencionados ya que los números de habitantes en comparación con los de la ciudad de Córdoba son despreciables.

En la siguiente tabla (Tabla 6) se muestra el caudal diario por habitante para cada ciudad. Resulta interesante mostrarlo debido a que se ha calculado de forma aproximada el caudal diario de Puente Genil como se comentó anteriormente. En la columna de caudal aproximado se muestra el caudal diario que tendrían las localidades con el dato de la media calculada para así ver como difiere del dato real. Para la localidad de Córdoba difiere en mayor cantidad debido al mayor número de habitantes que hace que sea menos preciso. No obstante, para el resto de las ciudades se puede observar como se acerca al dato real, por lo que resulta una buena estimación.

Municipio	Empresa	Tipo	m3 agua tratada/día {O}	m3 agua tratada/día/habitante	caudal aproximado (m3/día)
Córdoba	EMACSA	Pública	75.139,00	0,23	58.474,94
Lucena	Aguas de Lucena	Pública	8.219,20	0,19	7.754,75
Puente Genil	Aqualia	Privada	5.404,47	0,18	5.404,47
Montilla	Aguas de Montilla	Mixta	3.735,87	0,17	4.109,23
Priego de Córdoba	Aguas de Priego	Mixta	3.013,70	0,14	4.039,87

Tabla 6. Caudal diario aproximado provincia de Córdoba.

Para la provincia de Córdoba se estudiará la eficiencia de los cinco municipios seleccionados al tener los datos necesarios al completo de todos ellos.

3.2.4 Jaén

De los cinco municipios seleccionados en la provincia de Jaén, falta el dato de la longitud de la red de saneamiento de dos de ellos: Andújar y Alcalá la Real. Para obtener el dato, se va a calcular de forma aproximada como se hizo en la provincia de Huelva, con el dato obtenido por el informe anual del agua en Europa [35]. Como se comentó, cada persona dispone de una media de 4.03 metros de tubería de saneamiento, por tanto para obtener la longitud de la red de saneamiento aproximada para dichas localidades, se va a multiplicar la longitud de 4.03 metros por el número de habitantes de cada localidad. En la siguiente tabla (Tabla 7) se muestran todos los datos necesarios para calcular la eficiencia del saneamiento en la provincia de Jaén, incluyendo los datos calculados como se ha comentado previamente.

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Jaén	SOMAJASA	Mixta	1085,00	150000	39176,2	111932
Linares	Linaqua	Mixta	164,00	96000	19783,75	56525
Andújar	SOMAJASA	Mixta	147,02	45000	10863,6	36212
Úbeda	Acciona Agua	Privada	106,00	73600	10262,4	34208
Álcala la Real	Adalsa	Pública	98,54	26000	9708,4	24271

Tabla 7. Datos saneamiento provincia de Jaén.

En la Tabla 7 se muestra la longitud de la red de saneamiento calculada para las localidades de Andújar y Alcalá la Real con valores de 147.02 km y 98.54 km correspondientemente. Se puede apreciar que las localidades poseen una longitud de la red de saneamiento similar, a excepción de Jaén cuyo valor de la longitud de la red es casi de diez veces mayor que la longitud de cada una de ellas. A continuación se muestra la tabla (Tabla 8) con las longitudes de las redes de saneamiento calculadas con el valor de 4.03 metros de red por habitante.

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	Km red Aprox
Jaén	SOMAJASA	Mixta	1085,00	454,44
Linares	Linaqua	Mixta	164,00	229,49
Andújar	SOMAJASA	Mixta	147,02	147,02
Úbeda	Acciona Agua	Privada	106,00	138,88
Álcala la Real	Adalsa	Pública	98,54	98,54

Tabla 8. Longitud red de Saneamiento aproximada provincia de Jaén.

Se puede ver que la longitud de la red de saneamiento para la ciudad de Jaén difiere mucho del valor real. Esto se debe a que a su territorio es muy extenso, de modo que las redes deben cubrir el territorio al completo, de ahí su alto valor de la longitud de la red. Sin embargo, para el caso de Linares, la red debería tener mayor longitud de la que posee, y esto se debe al caso contrario de la localidad de Jaén, su territorio es menos extenso y se encuentra más concentrado, por lo que su red de saneamiento es menor. En el caso de Úbeda, la red de saneamiento real y el valor aproximado calculado son muy parecidos. Se estima que para las localidades de Andújar y Alcalá la Real los valores de las aproximaciones pueden ser buenas debido a que ambas localidades poseen una población similar a la localidad de Úbeda, para la cual se obtuvo una buena aproximación, como se ha comentado.

En el caso de las capacidades de las EDARs, la ciudad de Jaén es la que tiene la EDAR con mayor capacidad, con un valor de 150.000 h.e. como se puede observar en la Tabla 7. Se puede apreciar como cubre de gran manera la población tratada. La siguiente ciudad con valor más alto de capacidad es la siguiente con mayor población: la localidad de Linares, con un valor de 96.000 h.e. Su capacidad teórica es mucho mayor que la población tratada, al igual que la siguiente localidad que le sigue: Úbeda. La localidad de Úbeda, a pesar de tener menos habitantes que Andújar (siguiente localidad con mayor población después de Linares) posee una capacidad de la EDAR mayor que ésta. Como se ha comentado, la siguiente ciudad es Andújar, con una capacidad de la EDAR de 45.000 h.e. En último lugar se encuentra el municipio de Alcalá la Real con una capacidad de la EDAR de 26.000 h.e. una capacidad teórica algo mayor que la población actual que posee.

Para los valores del caudal de agua diaria tratada, el valor más alto es en el municipio de Jaén con casi 40.000 metros cúbicos de agua diaria tratada. Le sigue Linares con casi la mitad de caudal diario. A continuación se encuentran las localidades de Andújar y Úbeda con casi la cuarta parte de caudal diario de agua tratada del municipio de Jaén. En último lugar se encuentra el municipio de Alcalá la Real con caudal diario de agua tratada de 9.708,4 metros cúbicos.

3.2.5 Sevilla

En la Tabla 9 se muestran los datos del saneamiento referidos a los cinco municipios seleccionados de la provincia de Sevilla. Hay algunos datos que no se han podido encontrar y se han calculado de forma aproximada, los cuales se comentarán en el siguiente párrafo. La empresa pública EMASESA se encarga de la gestión del ciclo integral del agua en los municipios de Sevilla, Dos Hermanas y Alcalá de Guadaíra. En Utrera, la gestión del agua también es controlada por una empresa pública: Aguas del Huesna. No obstante, para la localidad de Écija, el control del ciclo integral del agua es gestionado por una empresa mixta.

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Sevilla	EMASESA	Pública	1.935,02	542.204,95	75.949,97	684.234,00
Dos Hermanas	EMASESA	Pública	385,32	950.000,00	15.123,75	136.250,00
Alcalá de Guadaíra	EMASESA	Pública	213,65	95.958,93	8.385,61	75.546,00
Utrera	Aguas del Huesna	Pública	142,50	73.500,00	7.216,00	51.145,00
Écija	Aqua Campiña	Mixta	106,00	55.000,00	4.720,80	39.838,00

Tabla 9. Datos saneamiento provincia de Sevilla.

Como se ha comentado en el párrafo anterior hay varios datos los cuales no se han podido encontrar y por tanto

se han calculado de forma aproximada. En primer lugar, la empresa EMASESA proporciona los datos generales en cuanto al saneamiento se refiere para las poblaciones abastecidas. Por tanto, los datos para cada municipio se han calculado mediante la media del total. EMASESA gestiona el agua de la ciudad de Sevilla y de once localidades más, donde la empresa muestra el total de la longitud de la red de saneamiento de las poblaciones abastecidas, siendo un total de 3.014 km.

Por consiguiente, se ha diseñado una tabla (Tabla 10) donde muestra las doce localidades gestionadas por la empresa EMASESA para el cálculo de la longitud de la red de saneamiento para cada uno de los municipios pertenecientes a la empresa. La suma de la longitud de la red de cada localidad debe sumar los 3.014 km mencionados. Por tanto, se ha calculado la longitud de cada red mediante una regla de tres, donde en el numerador se encuentra los 3.014 km total de red por la población del municipio en cuestión entre el total de la población de los doce municipios que se corresponde con la columna *Km red aprox*. En otra columna se muestra la longitud de la red de saneamiento aproximada calculada con el dato de 4.03 metros de tubería por persona (el cual no se ha tenido en cuenta, ya que la suma de cada red de saneamiento aproximada sobrepasa los 3.014 km de red con un total de 4.295,03 km) para ver la diferencia de longitud con la mencionada anteriormente que hace referencia a la segunda columna *Km red aprox 4,03*. Por último, la Tabla 10 muestra el caudal diario aproximado que se ha calculado en función del dato proporcionado por EMASESA de 0.111 metros cúbicos de agua tratada por habitante y día. Por tanto, el caudal se ha calculado multiplicando el dato de 0.111 metros cúbicos por habitante y día por el número de habitantes de cada localidad, resultado el caudal diario en metros cúbicos.

EMASESA	Km red aprox	Km red aprox 4,03	m3 agua tratada/día	Población
Alcalá de Guadaira	213,65	304,45	8.385,61	75.546,00
Alcalá del Río	34,68	49,42	1.361,30	12.264,00
Camas	77,74	110,78	3.051,39	27.490,00
Coria	87,03	124,02	3.415,91	30.774,00
Dos Hermanas	385,32	549,09	15.123,75	136.250,00
El Ronquillo	3,85	5,48	150,96	1.360,00
La Puebla del Río	33,58	47,85	1.317,90	11.873,00
La Rinconada	110,87	157,99	4.351,64	39.204,00
Mairena del Alcor	67,57	96,29	2.652,12	23.893,00
San Juan de Aznalfarache	62,47	89,01	2.451,77	22.088,00
El Garrobo	2,23	3,18	87,58	789,00
Sevilla	1.935,02	2.757,46	75.949,97	684.234,00
Total	3.014,00	4.295,03	118.299,92	1.065.765,00

Tabla 10. Longitud Red de Saneamiento y caudal diario aproximado provincia de Sevilla.

Por consiguiente, el origen de los datos de la longitud de la red de saneamiento y caudal diario para los municipios de Sevilla, Dos Hermanas y Alcalá de Guadaira que aparecen en la Tabla 9 quedan explicados. Otro dato que es importante explicar es de la capacidad de las EDARs de estos tres municipios en cuestión. EMASESA gestiona seis estaciones depuradoras de aguas residuales: San Jerónimo, Tablada, Rainilla, Copero, Mairena-Viso del Alcor y El Ronquillo. Por tanto, se ha calculado la parte correspondiente de la capacidad que tendría si existiera una EDAR para cada municipio. La EDAR San Jerónimo recoge las aguas residuales de la zona norte de la localidad de Sevilla, y de los municipios de San Juan de la Rinconada, La Rinconada y Alcalá del Río con una capacidad de 350.000 h.e. Por tanto, de esta EDAR se ha tomado el dato de la capacidad equivalente (167.629,81 h.e.) de la zona norte de Sevilla para incluirlo en la EDAR equivalente de la localidad de Sevilla. Este dato se recoge en la siguiente tabla (Tabla 11):

EDAR San Jeronimo	Capacidad EDAR (h.e.)	Población
Zona Norte	167.629,81	71.963,00
San Juan de la Rinconada	62.481,20	26.823,00
La Rinconada	91.321,36	39.204,00
Alcalá del Río	28.567,63	12.264,00
Total	350000	150254

Tabla 11. Capacidad EDAR San Jerónimo (Sevilla).

La EDAR Tablada recoge las aguas residuales de la zona oeste de la ciudad de Sevilla, y de los municipios de Camas y San Juan de Aznalfarache cuya capacidad es de 200.000 h.e. Se ha obtenido el dato equivalente en h.e. de la capacidad de la zona oeste de Sevilla (120.534,07 h.e.) que se incluirá en la EDAR equivalente de la ciudad de Sevilla. El cálculo de dicha capacidad equivalente se muestra en la Tabla 12:

EDAR Tablada	Capacidad EDAR (h.e.)	Población
Zona Oeste	120.534,07	75.200,00
Camas	44.062,25	27.490,00
San Juan Azn.	35.403,68	22.088,00
Total	200.000,00	124.778,00

Tabla 12. Capacidad EDAR Tablada (Sevilla).

La EDAR Rainilla recoge las aguas residuales de la zona este de la localidad de Sevilla y del municipio de Alcalá de Guadaira con una capacidad de 350.000 h.e. Como en el resto de EDARs mencionadas anteriormente, se ha calculado la capacidad equivalente de cada zona donde la EDAR recoge las aguas residuales, para incluirlas por un lado la capacidad equivalente de la zona este de Sevilla (254.041,07) en la EDAR equivalente de Sevilla y la capacidad equivalente de Alcalá de Guadaira en la EDAR equivalente del municipio de Alcalá de Guadaira (95.958,93). Los cálculos comentados se muestran en la Tabla 13:

EDAR Rainilla	Capacidad EDAR (h.e.)	Población
Zona Este	254.041,07	200.000,00
Alcalá de Guadaira	95.958,93	75.546,00
Total	350.000,00	275.546,00

Tabla 13. Capacidad EDAR Rainilla (Sevilla).

La suma de las capacidades equivalentes en cada una de las EDARs comentadas para la EDAR equivalente de la ciudad de Sevilla constituyen el total de la capacidad de 542.204,95 h.e. mostradas en la columna de EDAR h.e. en la Tabla 9. De igual forma para la capacidad de la EDAR equivalente del municipio de Alcalá de Guadaira. La capacidad de la EDAR equivalente de Sevilla se muestra en la Tabla 14:

EDAR equivalente Sevilla	Capacidad
San Jerónimo	167.629,81
Tablada	120.534,07
Rainilla	254.041,07
Total	542.204,95

Tabla 14. EDAR equivalente municipio de Sevilla.

La EDAR Copero depura las aguas residuales de la cuenca sur de Sevilla (Dos Hermanas y el polígono industrial la Isla) con una capacidad de 950.000 h.e. Es una capacidad muy elevada en relación con el número de habitantes abastecidos, y es debido a que se ha realizado la inversión para incorporar la depuración de las aguas residuales de las cuencas oeste y norte de la localidad de Sevilla, desapareciendo por tanto las EDARs de San Jerónimo y Tablada cuando se terminen las obras de dicha estación depuradora.

Las EDARs restantes (EDARs de Mairena-Viso del Alcor y El Ronquillo) no se han tenido en cuenta ya que no recogen las aguas residuales de ningún municipio seleccionado para el estudio de la provincia de Sevilla.

Por otro lado, para los municipios de Utrera y Écija faltan los datos de la longitud de la red de saneamiento y caudal diario de agua tratada respectivamente. Para el municipio de Utrera, la longitud de la red de saneamiento se ha calculado mediante la media de la longitud de las cuatro localidades restantes. Para ello, se ha calculado el ratio longitud de red partido de población de cada una de las localidades, se ha calculado la media de las cuatro, y con esa media se ha multiplicado por la población de la localidad de Utrera, obteniendo la longitud de la red de saneamiento aproximada, donde se muestra en la Tabla 15:

Municipio	Empresa	Tipo	Red aprox	Ratio km red saneam
Sevilla	EMASESA	Pública	1.935,02	0,002828016
Dos Hermanas	EMASESA	Pública	385,32	0,002828016
Alcalá de Guadaira	EMASESA	Pública	213,65	0,002828016
Utrera	Aguas del Huesna	Pública	142,50	0,002786206
Écija	Aqua Campiña	Mixta	106,00	0,002660776

Tabla 15. Cálculo longitud red saneamiento aproximada Utrera (Sevilla).

Como se puede apreciar, las localidades de Sevilla, Dos Hermanas y Utrera poseen los mismo ratios debido a que a la longitud de la red de saneamiento se calculó como la media de los pueblos a los que la empresa EMASESA abastece como se comentó anteriormente. La longitud de la red de saneamiento de la localidad de Écija se conocía, obteniendo el ratio mostrado en la Tabla 15. De esos cuatro ratios, como se ha comentado, se ha calculado su media, resultando el valor del ratio de la localidad de Utrera (0.002786) y multiplicado por la población de Utrera, se ha obtenido el valor de 142.5 km de red de saneamiento del municipio de Utrera.

En el caso de Écija, el caudal se ha obtenido de forma similar. Mediante el ratio de metros cúbicos partido por habitante y día para los cuatro municipios de los cuales su valor se conoce: 0.111 metros cúbicos partido por habitante y día para las localidades de Sevilla, Dos Hermanas y Alcalá de Guadaira, y 0.141 metros cúbicos partido por habitante y día para el municipio de Utrera. Con esos valores se ha calculado el valor medio, resultando 0.1185, que es por tanto a su vez el ratio de la localidad de Écija. Dicho valor se ha multiplicado por la población de Écija, resultado el caudal diario en metros cúbicos para dicho municipio. Los valores y cálculos comentados se muestran en la Tabla 16:

Municipio	Empresa	Tipo	Caudal aprox	Ratio m3/hab/día
Sevilla	EMASESA	Pública	75.949,97	0,111
Dos Hermanas	EMASESA	Pública	15.123,75	0,111
Alcalá de Guadaira	EMASESA	Pública	8.385,61	0,111
Utrera	Aguas del Huesna	Pública	7.216,00	0,141
Écija	Aqua Campiña	Mixta	4.720,80	0,1185

Tabla 16. Cálculo caudal aproximado Écija (Sevilla).

Se puede observar que los valores aproximados obtenidos para los municipios de Utrera y Écija se ajustan bien a los demás valores, por lo que se consideran buenas aproximaciones para el posterior análisis de eficiencia del saneamiento en la provincia de Sevilla. Por consiguiente, para el análisis de eficiencia se van a considerar los cinco municipios de la provincia de Sevilla, que a pesar de no tener los datos al completo a priori se ha tenido una buena aproximación de los valores que faltaban como se ha visto.

3.2.6 Málaga

Para la provincia de Málaga, no se ha podido encontrar el dato de la longitud de la red de saneamiento para los municipios de Mijas y Vélez-Málaga. Al faltar sólo un dato para ambos municipios se han calculado de forma aproximada, como se verá comentado más adelante. La siguiente tabla (Tabla 17) muestra los datos referidos al saneamiento en la provincia de Málaga:

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Málaga	EMASA	Pública	2.000,00	1.076.590,17	138.611,68	577.405,00
Marbella	Acosol	Pública	909,11	320.000,00	26.500,00	147.958,00
Mijas	Acosol	Pública	325,21	212.248,06	14.699,89	86.744,00
Vélez-Málaga	Aqualia	Privada	336,85	111.580,00	5.333,34	82.967,00
Estepona	Acosol	Pública	406,00	140.000,00	9.991,46	71.925,00

Tabla 17. Datos saneamiento provincia de Málaga.

En primer lugar, la gestión del ciclo integral del agua para cuatro de los cinco municipios seleccionados es controlada por empresas públicas. En el caso de la ciudad de Málaga por EMASA, y para las localidades pertenecientes a la comarca de la Costa del Sol, que son Marbella, Mijas y Estepona, son gestionadas por la empresa Acosol. Para la localidad de Vélez-Málaga la gestión del agua es ejercida por la empresa privada Aqualia.

Como se puede apreciar en la Tabla 17 la longitud de las redes de Málaga, Marbella y Estepona son 2.000 km, 909,11 km y 406 km respectivamente. Como se comentó anteriormente se desconoce el valor de la longitud de la red de saneamiento de los municipios de Mijas y Vélez-Málaga. En el caso de Mijas, se conoce que la longitud total de la red de saneamiento para las localidades de Mijas, Ojén, Casares e Istán es de 367 km y la población total servida es de 97.891 habitantes. Por tanto, se ha calculado la red de saneamiento en función del número de habitantes de cada localidad como se muestra en la Tabla 18:

	Red aprox.	Población
Mijas	325,21	86.744,00
Ojén	13,38	3.568,00
Casares	22,95	6.121,00
Istán	5,47	1.458,00
Total	367,00	97.891,00

Tabla 18. Cálculo red de saneamiento aproximada Mijas (Málaga).

En el caso del municipio de Vélez-Málaga la longitud de la red de saneamiento se ha calculado en función del dato nacional de que se dispone de 4,06 metros de tubería de red de saneamiento por habitante. Se ha dividido dicho dato por 1000 para pasar el valor a km y se ha multiplicado por el número de habitantes de Vélez-Málaga, obteniendo el valor de la longitud de la red de saneamiento de 336,85 km, como se muestra en la Tabla 17.

En cuanto a las estaciones depuradoras de aguas residuales, la EDAR Guadalhorce recoge las aguas residuales de la ciudad de Málaga y de las localidades de Torremolinos y Alhaurín de la Torre. Se conoce la capacidad, en habitantes equivalentes, de la EDAR Guadalhorce, por lo tanto, para calcular la capacidad equivalente referida a la ciudad de Málaga, se ha calculado en función del número de habitantes. Los cálculos referidos a la capacidad de la EDAR equivalente de la localidad de Málaga se muestra en la Tabla 19:

EDAR Guadalhorce	Capacidad h.e.	Caudal aprox	Población
Málaga	1.076.590,17	138.611,68	577.405,00
Torremolinos	126.892,60	16.337,50	68.056,00
Alhaurín de la Torre	78.064,23	10.050,82	41.868,00
Total	1.281.547,00	165.000,00	687.329,00

Tabla 19. Cálculo EDAR y caudal diario equivalente ciudad de Málaga.

Para los municipios de Marbella, Vélez-Málaga y Estepona la capacidad de la EDAR son los valores que se muestran en la Tabla 17, ya que sólo se recogen las aguas residuales de los municipios comentados. No obstante, las aguas residuales del municipio de Mijas son recogidas en dos EDARs: la EDAR Cerro del Águila y la EDAR Cala de Mijas. La EDAR Cala de Mijas tiene una capacidad de 25.000 habitantes equivalentes. La EDAR Cerro del Águila recoge las aguas residuales del municipio de Mijas y además las de la localidad de Fuengirola. Se tiene el dato referido a la capacidad total de la EDAR y el número de habitantes total al que suministra (población de Mijas y Fuengirola), por tanto, para calcular la capacidad referida al municipio de Mijas, se ha calculado en función de dichos datos, resultando una capacidad de 187.248,06 h.e. como se muestra en la Tabla 20:

EDAR Cerro del Águila	Capacidad h.e.	Población	Caudal diario
Mijas	187.248,06	86.744,00	10.699,89
Fuengirola	162.751,94	75.396,00	9.300,11
Total	350.000,00	162.140,00	20.000,00

Tabla 20. Cálculo EDAR y caudal diario equivalente municipio de Mijas (Málaga).

El caudal diario de agua tratada para los municipios de Málaga y Mijas se han calculado en función del número de habitantes proporcional al total tratado como se ha realizado en el caso de las EDARs. Por tanto, para la ciudad de Málaga, el caudal diario aproximado en metros cúbicos diarios se muestra en la Tabla 19, resultando un total de 138.611,68. El caudal aproximado para la localidad de Mijas se ha calculado como la suma del caudal de agua tratada de la EDAR Cala de Mijas, el cual es 4.000 metros cúbicos al día, y el caudal aproximado calculado en la Tabla 20 de 10.699,89 metros cúbicos diarios. Por consiguiente, el caudal total de agua tratada del municipio de Mijas es de 14.699,89 metros cúbicos al día como muestra la Tabla 17.

Para el municipio de Marbella, al igual que la capacidad de la EDAR, el caudal diario de agua tratada es el que se muestra en la Tabla 17, al recogerse únicamente en la EDAR las aguas residuales del municipio en cuestión.

En el municipio de Vélez-Málaga se conoce el caudal diario máximo de agua tratada que se da en época alta donde se triplica la población de la localidad, resultando 16.000 metros cúbicos. Por tanto, para calcular el caudal diario medio se ha calculado mediante una regla de tres, o lo que es lo mismo, se ha dividido el caudal máximo por tres, obteniendo el caudal medio de 5.333,34 metros cúbicos diarios.

Por último, para el municipio de Estepona, se conoce el caudal total de agua tratada que se recoge en la EDAR Guadalmanza, resultando 55.566 metros cúbicos diarios. Se conoce además el número de habitantes total al que suministra dicha EDAR, resultando 400.000 habitantes. Por tanto, para calcular el caudal diario de la localidad de Estepona, se ha calculado el caudal aproximado equivalente al número de habitantes de dicho municipio, resultando un total de 9.991,46 metros cúbicos al día. Los cálculos se muestran en la Tabla 21:

EDAR Guadalmanza	Caudal aprox	Población
Estepona	9.991,46	71.925,00
Total	55.566,00	400.000,00

Tabla 21. Cálculo caudal diario aproximado Estepona (Málaga).

En conclusión, para la provincia de Málaga se va a estudiar la eficiencia del saneamiento de los cinco municipios previamente seleccionados al disponer de todos los datos al completo.

3.2.7 Granada

En cuanto a los datos encontrados para la provincia de Granada sólo se ha obtenido al completo el municipio de Granada. En el caso de Motril, no se ha encontrado el dato de la longitud de la red de saneamiento, el cual se ha calculado de forma aproximada como se verá más adelante. Para los municipios restantes de Almuñécar, Armilla y Las Gabias no se dispone del dato de la longitud de la red de saneamiento ni de el caudal diario de agua tratada. Ambos datos se han calculado de forma aproximada, que también serán comentados más adelante. La Tabla 22 muestra los datos referidos al saneamiento de los cinco municipios seleccionados de la provincia de Granada:

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Granada	EMASAGRA	Mixta	1.086,00	337.501,68	50.526,95	231.775,00
Motril	AyS Costa Tropical Granada	Mixta	228,58	153.409,62	17.000,00	58.545,00
Almuñécar	AyS Costa Tropical Granada	Mixta	101,08	115.945,02	5.945,59	25.890,00
Armilla	EMASAGRA	Mixta	54,52	35.512,85	10.634,61	24.388,00
Las Gabias	EMASAGRA	Mixta	46,28	30.146,90	9.027,73	20.703,00

Tabla 22. Datos saneamiento provincia de Granada.

En primer lugar, la gestión del ciclo integral del agua de los cinco municipios es controlada por las empresas mixtas EMASAGRA y Aguas y Servicios de la Costa Tropical de Granada. EMASAGRA gestiona el agua de quince municipios de la provincia, entre ellos los seleccionados para el caso de estudio de Granada, Armilla y Las Gabias. Aguas y Servicios de la Costa Tropical de Granada gestiona el agua de 16 municipios, entre los cuales se encuentra Motril y Almuñécar. Como se ha comentado, el dato de la longitud de la red de saneamiento del municipio de Granada se ha encontrado. La empresa EMASAGRA refleja el valor de la longitud total de la red de saneamiento, el cual es 1.430 km, y también se dispone del dato del caudal diario de agua tratada de todos los municipios que se integran en la empresa, el cual es 67.104,70 metros cúbicos. Por consiguiente, tanto la longitud de la red como el caudal diario de agua tratada para los municipios de Armilla y Las Gabias se ha calculado en función del número de habitantes, como se muestra en la Tabla 23. Al tener el dato de la longitud de la red de saneamiento de la ciudad de Granada, se ha restado dicho valor al total de 1.430 km, y como se ha comentado se ha calculado la longitud de la red de Armilla y Las Gabias proporcional a su población.

EMASAGRA	Red saneamiento aprox	Caudal	Población
Alhendín	20,49	3.997,79	9.168,00
Armillá	54,52	10.634,61	24.388,00
Cájar	11,33	2.210,82	5.070,00
Cenes de la Vega	17,72	3.457,08	7.928,00
Cúllar Vega	16,49	3.217,24	7.378,00
Churriana de la Vega	33,20	6.475,91	14.851,00
Gójar	12,75	2.486,85	5.703,00
Huétor Vega	26,75	5.217,88	11.966,00
La Zubia	42,46	8.282,94	18.995,00
Las Gábias	46,28	9.027,73	20.703,00
Ogijares	31,35	6.115,73	14.025,00
Otura	15,46	3.016,22	6.917,00
Pinos Genil	3,24	631,85	1.449,00
Pulianas	11,95	2.332,04	5.348,00
TOTAL	344,00	67.104,70	153.889,00

Tabla 23. Cálculo longitud red de saneamiento y caudal diario aproximado EMASAGRA (Granada).

Para los municipios pertenecientes a la Costa Tropical de Granada, los cuales son Motril y Almuñécar, dicha empresa también dispone del dato total de la longitud de la red de saneamiento y del caudal diario de agua tratada de los municipios que la integran. Por tanto, se ha calculado en función del número de habitantes como en el caso de Armillá y Las Gábias. Los datos se encuentran representados en la siguiente tabla (Tabla 24):

Costa Tropical Granada	Km red aprox	Población	Caudal diario aprox
Motril	228,58	58.545,00	13.444,74
Gualchos-Castell de Ferro	20,34	5.210,00	1.196,47
Lújar	1,80	462,00	106,10
Torrenueva Costa	11,29	2.892,00	664,14
Almuñécar	101,08	25.890,00	5.945,59
Otívar	4,02	1.029,00	236,31
Jete	3,55	909,00	208,75
Lentegí	1,28	328,00	75,32
Salobreña	48,40	12.396,00	2.846,72
Molvízar	10,77	2.759,00	633,60
Ítrabo	3,91	1.002,00	230,11
Albuñol	27,83	7.128,00	1.636,93
Albondón	2,85	729,00	167,41
Rubite	1,49	382,00	87,73
Polopos-La Mamola	7,68	1.966,00	451,49
Sorvilán	2,13	545,00	125,16
TOTAL	477,00	122.172,00	28.056,55

Tabla 24. Cálculo longitud de la red de saneamiento y caudal diario aproximado AyS Costa Tropical Granada.

Como se comentó anteriormente, el dato del caudal diario del municipio se conoce, y el caudal diario de Motril también es conocido, los cuales se muestran en la Tabla 22. Se puede apreciar que los caudales del municipio

de Granada y Motril, mostrados en la Tabla 23 y la Tabla 24 respectivamente, se encuentran bien aproximados al semejarse a los datos obtenidos de ambos municipios que se muestran en la Tabla 22.

En cuanto a las estaciones depuradoras de aguas residuales, se ha calculado para cada municipio la capacidad equivalente a sus habitantes. En el caso de las localidades de Granada, Armilla y Las Gabias, existen dos EDARs, la EDAR Sur y la EDAR de los Vados (Oeste). Por tanto, ambas EDARs depuran las aguas residuales de parte de la población de las localidades mencionadas. Se ha calculado la capacidad equivalente en función de sus habitantes, suponiendo que cada una de las EDARs mencionadas depura las aguas residuales de la mitad de la población de las localidades mencionadas. En las siguientes tablas (Tabla 25 y Tabla 26) se muestran los datos comentados para el cálculo de las capacidades de las EDARs en habitantes equivalentes:

EDAR Sur	EDAR	Población
Granada	268.119,08	115.887,50
Huétor-Vega	27.684,72	11.966,00
Pinos Genil	3.352,43	1.449,00
Cenes de la Vega	18.342,34	7.928,00
Armillá	28.212,22	12.194,00
Cájar	11.730,03	5.070,00
Gójar	6.597,27	2.851,50
Monachil	18.106,35	7.826,00
Ogíjares	32.448,45	14.025,00
La Zubia	43.947,12	18.995,00
Quéntar	2.119,27	916,00
Dúdar	740,36	320,00
Víznar	2.267,34	980,00
Las Gabias	23.949,39	10.351,50
TOTAL	463.667,00	200.408,00

Tabla 25. Capacidad EDAR Sur Granada.

EDAR de los Vados (Oeste)	EDAR	Población
Granada	69.382,59	115.887,50
Albolote	11.223,35	18.746,00
Alhendín	5.488,94	9.168,00
Atarfe	11.108,40	18.554,00
Armillá	7.300,63	12.194,00
Churriana de la Vega	8.891,39	14.851,00
Cúllar Vega	4.417,26	7.378,00
Dílar	1.216,57	2.032,00
Las Gabias	6.197,51	10.351,50
Jun	2.266,10	3.785,00
Maracena	13.199,68	22.047,00
Otura	4.141,25	6.917,00
Peligros	6.757,00	11.286,00
Pulianas	3.201,88	5.348,00
Gójar	1.707,21	2.851,50
Alfacar	3.219,84	5.378,00
Güevéjar	1.521,31	2.541,00
Nívar	596,31	996,00
Calicasas	364,61	609,00
Cogollos de la Vega	1.223,76	2.044,00
Vegas de Genil	6.574,40	10.981,00
TOTAL	170.000,00	283.945,50

Tabla 26. Capacidad EDAR de los Vados (Oeste) Granada.

Los municipios de Motril y Almuñécar, como se ha comentado, pertenecen a la conocida Costa Tropical de Granada, que se divide en cuatro sectores, donde dos de ellos son el sector de Motril y el sector Almuñécar. Ambos sectores depuran las aguas residuales de los municipios al que hace referencia el nombre y varios más. Por consiguiente, se ha calculado la capacidad equivalente de la EDAR de ambas localidades. Las siguientes tablas (Tabla 27 y Tabla 28) muestran los datos comentados:

EDAR Sector Motril	EDAR	Población
Motril	153.409,62	58.545,00
Torrenewva	7.095,96	2.708,00
Carchuna-Calahonda	6.131,67	2.340,00
Gualchos-Castell de Ferro	13.652,13	5.210,00
Lújar	1.210,61	462,00
TOTAL	181.500,00	69.265,00

Tabla 27. Capacidad EDAR sector Motril (Granada).

EDAR Sector Almuñécar	EDAR	Población
Almuñécar	115.945,02	25.890,00
Jete	4.070,84	909,00
La Herradura	19.256,99	4.300,00
Otívar	4.608,24	1.029,00
Lentegí	1.468,91	328,00
TOTAL	145.350,00	32.456,00

Tabla 28. Capacidad EDAR sector Almuñécar (Granada).

Por tanto, al reunir todos los datos necesarios de cada uno de los cinco municipios seleccionados de la provincia de Granada, se estudiará la eficiencia del saneamiento de todos ellos.

3.2.8 Almería

Para los cinco municipios seleccionados de la provincia de Almería se disponen de todos los datos, ya sean exactos o aproximados. En el caso de la ciudad de Almería y Roquetas de Mar se han encontrados los datos exactos necesarios. Sin embargo, para la localidad de El Ejido no se ha encontrado la longitud de la red de saneamiento, que como se ha comentado, se ha calculado de forma aproximada. Para las localidades de Níjar y Vícar, no se dispone del dato del caudal diario de agua tratada, el cual se ha obtenido también de forma aproximada como se explicará más adelante. En la siguiente table (Tabla 29) se muestran los datos referidos al saneamiento para la provincial de Almería:

Municipio	Empresa	Tipo	Km red saneamiento {I}	EDAR h.e. {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Almería	Aqualia	Privada	376,72	315.000,00	26.171,86	201.322,00
Roquetas de Mar	Hidralia	Privada	443,00	139.060,38	13.500,00	98.725,00
El Ejido	Aguas de El Ejido	Mixta	389,70	112.066,52	7.000,00	84.005,00
Níjar	EMANAGUA	Mixta	200,00	50.000,00	3.670,85	31.458,00
Vícar	Ayto. de Vícar	Municipal	160,00	38.591,81	3.197,09	27.398,00

Tabla 29. Datos saneamiento provincia de Almería.

La gestión del ciclo integral del agua de los municipios de Almería y Roquetas de Mar es controlada por empresas privadas, Aqualia e Hidralia respectivamente. En los municipios de El Ejido y Níjar el ciclo integral del agua es gestionado por empresas mixtas, Aguas El Ejido y EMANAGUA respectivamente. En último lugar, el control del agua en Vícar es gestionado por el mismo Ayuntamiento.

En cuanto a la longitud de la red de saneamiento, se puede observar que la red de Roquetas de Mar es la de mayor longitud a pesar de tener menos población que la localidad de Almería. Como se comentó anteriormente la longitud de la red de saneamiento de la localidad de El Ejido se calculó de forma aproximada. En primer lugar se ha obtenido el ratio kilómetro de red partido por población y se ha calculado la media de los cuatro municipios (Almería, Roquetas de Mar, Níjar y Vícar). Por tanto, para obtener el valor de la longitud de la red de El Ejido se ha multiplicado dicha media obtenida por la población del municipio en cuestión, obteniendo el valor que aparece en la Tabla 29 de 389,70 km. Los cálculos comentados se muestran en la Tabla 30:

Municipio	Km red saneamiento {I}	Ratio km red / hab	Población {O}
Almería	376,72	0,001871231	201.322,00
Roquetas de Mar	443,00	0,004487212	98.725,00
El Ejido	389,70	0,004638992	84.005,00
Níjar	200,00	0,006357683	31.458,00
Vícar	160,00	0,005839842	27.398,00

Tabla 30. Cálculo longitud red de saneamiento El Ejido (Almería).

Se puede observar que el ratio kilómetros de red partido de población de la ciudad de Almería es muy pequeño comparado con el resto, debido a que posee una infraestructura de saneamiento de pequeña longitud en función del número de habitantes al que sirve. Todo lo contrario se da en los municipios de Níjar y Vícar, los cuales poseen una red de saneamiento bastante más grande que las demás en función del número de habitantes. Se puede observar que el ratio kilómetro de red partido de población en el caso de El Ejido es la media de los ratios del resto de municipios.

En cuanto a las estaciones depuradoras de aguas residuales, cuatro de los cinco municipios disponen de una EDAR en su municipio. En el caso de V́icar, las aguas residuales son recogidas hacia la EDAR de Roquetas de Mar, la cual recoge además las aguas residuales de La Mojonera y de una localidad perteneciente al municipio de El Ejido. Por tanto, la capacidad equivalente de la EDAR del municipio de Roquetas de Mar y V́icar se ha calculado de manera proporcional a la poblaci3n de dichos municipios. Los datos referidos a las capacidades calculadas de las EDARs mencionadas se muestran en la siguiente tabla (Tabla 31):

EDAR Roquetas de Mar	EDAR	Poblaci3n
Roquetas de Mar	139.060,38	98.725,00
V́icar	38.591,81	27.398,00
La Mojonera	12.681,29	9.003,00
San Agustín (El Ejido)	4.066,52	2.887,00
TOTAL	194.400,00	138.013,00

Tabla 31. Capacidad EDAR Roquetas de Mar (Almería).

Las capacidades calculadas son las que se muestran en la Tabla 29 expresadas en habitantes equivalentes. En el caso de El Ejido, la estaci3n depuradora de aguas residuales del municipio recoge las aguas residuales de todo el municipio salvo de la localidad de San Agustín, que como muestra la Tabla 31 son dirigidas hacia la EDAR de Roquetas de Mar. Por consiguiente, para calcular la capacidad equivalente de la EDAR de El Ejido, se ha sumado la capacidad equivalente a la localidad de San Agustín correspondiente a la EDAR de Roquetas de Mar (4.066,52 h.e.) a la capacidad total de la EDAR de El Ejido (108.000 h.e.) como muestra la Tabla 32.

EDAR El Ejido equivalente	EDAR	Poblaci3n
El Ejido	108.000,00	81.118,00
San Agustín (El Ejido)	4.066,52	2.887,00
TOTAL	112.066,52	84.005,00

Tabla 32. Capacidad EDAR equivalente El Ejido (Almería).

Las EDAR de Almería (EDAR El Bobar) y la EDAR de Níjar (EDAR de El Cautivo) recogen únicamente las aguas residuales de los municipios en cuesti3n, por consiguiente la capacidad de la EDAR es la que se muestra en la Tabla 29.

En cuanto al caudal diario de agua tratada de la ciudad de Almería, se dispone del dato de que se recoge un caudal diario de 0,13 metros cúbicos por habitante, por tanto se ha obtenido el caudal diario en metros cúbicos multiplicando el dato obtenido por la poblaci3n de la ciudad de Almería. Para los municipios de Roquetas de Mar y El Ejido se dispone del dato del caudal diario de agua tratada, resultando 13.500 y 7.000 metros cúbicos respectivamente. Los caudales de agua tratada de los municipios de Níjar y V́icar no se han encontrado, por lo que se han calculado de forma aproximada. En primer lugar, se ha calculado el caudal diario por habitante, simplemente dividiendo el caudal diario por el número de habitantes del municipio en cuesti3n. De los caudales diarios por habitante de las localidades de Almería, Roquetas de Mar y El Ejido se ha calculado la media. Por consiguiente, el caudal diario por habitante de las localidades de Níjar y V́icar se ha aproximado como la media obtenida, donde multiplicando dicho valor por el número de habitantes de cada municipio se obtiene el caudal aproximado para ambos municipios. Los datos y valores aproximados comentados se muestran en la siguiente tabla (Tabla 33):

Municipio	m3 agua tratada / día	m3 agua tratada / día / hab	Población {O}
Almería	26.171,86	0,13	201.322,00
Roquetas de Mar	13.500,00	0,14	98.725,00
El Ejido	7.000,00	0,08	84.005,00
Níjar	3.670,85	0,12	31.458,00
Vícar	3.197,09	0,12	27.398,00

Tabla 33. Cálculo caudal aproximado Níjar y Vícar (Almería).

En conclusión, se va a estudiar la eficiencia del saneamiento de los cinco municipios seleccionados de la provincia de Almería al disponer de todos los datos necesarios, ya sean exactos o aproximados.

4 ANÁLISIS DE EFICIENCIA MEDIANTE EL ANÁLISIS POR ENVOLTURA DE DATOS

En este punto se pretende analizar las empresas anteriormente seleccionadas mediante el análisis por envoltura de datos. Por tanto, lo primero será introducir el método de análisis de eficiencia elegido, el análisis por envoltura de datos (DEA), explicado y desarrollado en las siguientes secciones.

El análisis se realizará con los datos vistos en el punto anterior para las empresas seleccionadas de cada provincia.

4.1 Selección metodología DEA

En general, a lo largo de la historia, los reguladores han centrado su control y las investigaciones sobre métodos empíricos de comparación y evaluación, que tienden a diferir entre países, provincias o áreas de control, lo que a su vez depende de la organización que gestiona dicha evaluación comparativa. (“Raising the bar: The role of governance in performance assessments” [36]).

Por ejemplo, EWURA (the Energy and Water Utilities Regulatory Authority) utiliza un análisis de eficiencia a través de puntuación numérica del desempeño (Performance Score, PS) al establecer valores objetivos basados en ciertos criterios de competencia de Yardstick. El sistema simula el comportamiento de empresas de la misma industria (en este de la gestión del agua) que operan en el mismo mercado competitivo, y las empresas más eficientes marcarán pautas y serán premiadas en este sistema de clasificación (y viceversa, las empresas menos eficientes).

A diferencia, la NWSC (the National Water and Sewerage Corporation) de Uganda utiliza un enfoque de indicador de eficiencia parcial (Partial Performance Indicators, PPI), y su análisis no incorpora los objetivos de eficiencia para las clasificaciones de las empresas que gestionan el ciclo integral de agua comentadas anteriormente. En este caso, al comparar empresas de servicios de agua, esto limita la optimización de posibles análisis en comparación con otros métodos que pueden proporcionar mejores resultados.

Por lo tanto, hay que construir una clasificación de niveles de eficiencia, donde exista un método aplicable dentro del mismo tipo de empresa, que se puede aplicar de forma global. (“Utility Benchmarking and Regulation in Developing Countries: Practical Application of Performance Monitoring and Incentives” [37]).

Cabe destacar que una empresa categorizada como eficiente según la comparativa de su evaluación no quiere decir que dicha empresa haya funcionado mejor, en todo el conjunto de las variables utilizadas para la comparación, que otra empresa que haya sido marcada como ineficiente. Según el artículo “Network DEA models for assessing urban water utility efficiency” [38] una empresa que haya sido seleccionada según la clasificación como ineficiente puede haber tenido mejores resultados en algunas variables. Por consiguiente, se usará como método de análisis el cálculo de la eficiencia por envoltura de datos (Data Envelopment Analysis, DEA) desarrollado por primera vez por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978 [39] a partir de los conceptos básicos en el trabajo de Farrel en 1957 [40] donde estos autores ampliaron las ideas de Farrel que no logró ser suficientemente genérico como, por ejemplo, en la estimación de la frontera eficiente bajo la ley de las proporciones variables. La base del trabajo de Farrel es la de mostrar la eficiencia de una empresa a través de sus entradas (inputs) y sus salidas (outputs). De ahí, como se ha comentado, Charnes, Cooper y Rhodes avanzaron y mejoraron el trabajo de Farrel, del cual se explicará adelante con más detalle.

El método DEA es una técnica de medición del desempeño para evaluar la eficiencia relativa de unas DMU’s seleccionadas (Decision Making Unit), donde se entiende DMU como una unidad dentro de la organización o empresa que es flexible a la hora de decidir sobre la producción, es decir, tiene la capacidad de modificar tanto la cantidad de cada uno de los recursos que están siendo utilizados como la de los que están siendo producidos.

Esta técnica se utiliza para comparar empresas de la misma industria, por lo que es capaz de evaluarlos cuantitativamente.

4.2 Conceptos básicos metodología DEA.

Para este estudio se ha utilizado como referencia la tesis “Análisis por Envoltura de Datos (DEA) nuevos modelos y aplicaciones” [41]. La metodología DEA es un método de programación matemática que genera una frontera eficiente a partir de los datos obtenidos de los DMU's seleccionados, de forma que, en la envolvente generada, conocida como frontera eficiente, se encontrarán las DMU's eficientes, mientras que en el resto se tendrán las DMU's conocidas como ineficientes, en menor o mayor medida, en función de los inputs y outputs seleccionados.

Por tanto, este método muestra un análisis de la eficiencia relativa de cada unidad estudiada. La frontera eficiente se define como el lugar geométrico de las unidades de estudio cuya eficiencia es igual a la unidad. Se definen los siguientes conceptos previos:

-Productividad:

La productividad se define como la relación que existe entre los resultados obtenidos y los recursos involucrados en la producción de este. Es una forma de medición de cómo se están aprovechando los recursos involucrados. La expresión matemática introducida por Farrell [40] reduce la expresión comentada de productividad como el cociente entre la producción creada y el recurso consumido, es decir, la salida entre la entrada.

Cabe destacar que es muy importante la correcta elección de las variables de entrada y de salida, ya que esto definirá la base del análisis a realizar. Si se escogiera unidades productivas con un solo resultado y recurso causante de este resultado, la fórmula de Farrell bastaría para resolver el modelo. Sin embargo, pocas veces se tienen DMU's con una sola entrada o salida, por lo que la productividad se definirá como muestra la Ecuación [1]:

$$Productividad = \frac{Suma\ ponderada\ de\ salidas}{Suma\ ponderada\ de\ entradas} \quad [1]$$

Si denominamos la cantidad de entrada o recurso 'i' empleado por la unidad 'j' como x_{ij} , y a la cantidad de salida o resultado 'k' que es producida por la unidad 'j' como y_{kj} , se obtienen las siguientes expresiones (Ecuación [2] y Ecuación [3]):

$$Entrada\ virtual\ j = \sum_{i=1}^m u_{ij}x_{ij} \quad [2]$$

$$Salida\ virtual\ j = \sum_{k=1}^s v_{kj}y_{kj} \quad [3]$$

donde las variables u_{ij} y v_{kj} hacen referencia a los pesos de entrada y de salida correspondientemente, m es el total de entradas que se ha tomado y s el número de salidas de la unidad correspondiente. Una vez comentado estos elementos se puede definir la productividad como muestra la Ecuación [4]:

$$Productividad_j = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}} \quad [4]$$

Así pues, con esta ecuación se puede calcular la productividad de una determinada unidad productiva que hace referencia al caso más general de numerosas entradas y salidas. No obstante, el cálculo de la productividad de una unidad productiva aislada no da ninguna referencia de cómo se están aprovechando dichos recursos empleados en producir los resultados obtenidos con respecto a otras unidades que se comporten de la misma manera. Con esto se quiere decir, que cuando una determinada unidad productiva se compara con otras unidades similares, el estudio de la productividad resulta más apropiado. Es decir, si se obtuviera una DMU con productividad igual a 9 no daría ninguna información si no se tiene un valor de referencia. Por lo tanto, se introduce el término de *eficiencia relativa* (Ecuación [5]):

$$Eficiencia_j = \frac{Productividad_j}{Productividad_o} = \frac{Salida\ virtual_j / Entrada\ virtual_j}{Salida\ virtual_o / Entrada\ virtual_o} \quad [5]$$

Donde los subíndices j y o indican la DMU a estudiar y la unidad que se toma como referencia correspondientemente. A continuación, se muestran 3 casos de eficiencias relativas en función de la referencia que se utilice:

- **Eficiencia global:** se obtiene cuando se elige como unidad de referencia la que tiene mayor productividad de todas las obtenidas en el caso de estudio.
- **Eficiencia técnica:** es obtenida en el caso de que se escoja como referencia la unidad de mayor productividad de entre las unidades de su tamaño. Se entiende como unidades del mismo tamaño las que poseen entradas y salidas del mismo orden de magnitud.
- **Eficiencia de escala:** es el cociente entre la eficiencia global y la eficiencia técnica. Se encuentra el caso de que se obtiene una eficiencia de escala igual a la unidad. Esto quiere decir que la eficiencia global y la eficiencia técnica son iguales, por tanto, la DMU evaluada es del mismo tamaño que la unidad de mayor productividad. La unidad que tiene eficiencia de escala igual a la unidad se dice que tiene el Tamaño de Escala Más Productivo (MPSS, en inglés).

Cabe destacar que la eficiencia relativa de una determinada unidad productiva siempre será menor o igual a la unidad. La DMU que tenga como eficiencia relativa la unidad será catalogada como *eficiente*. Por otro lado, las DMUs que tengan eficiencia relativa menor a la unidad serán categorizadas como *ineficientes*, ya que existe alguna unidad productiva con mayor eficiencia.

Por consiguiente, la eficiencia relativa de la unidad j es el cociente de la productividad de la unidad productiva en cuestión entre la productividad de la unidad de referencia que se denominará con el subíndice '0' la cual se muestra en la Ecuación [6]:

$$Eficiencia_j = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj}y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij}x_{ij}} \Big|_0 \tag{6}$$

Se observa que existen multitud de combinaciones de los pesos que dan la misma eficiencia. Para reducir el número de pesos que dan la misma eficiencia relativa se fija de aquí en adelante que la eficiencia de la unidad de referencia ‘0’ es la unidad. De esta forma en el denominador siempre aparece la unidad, ya que la unidad de referencia es eficiente. Por lo tanto, la expresión anterior queda de la siguiente forma (Ecuación [7]):

$$Eficiencia_j = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj}y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij}x_{ij}} \tag{7}$$

Esta expresión es la que va a ser utilizada en el modelo elegido más adelante.

Otros conceptos previos importantes que son necesarios definir son los siguientes:

- **Retorno de escala constante** (*Constant Return to Scale: CRS*): se define que cualquier unidad productiva puede alcanzar la productividad de las eficientes, es decir de la unidad, independientemente de su tamaño, así pues, independientemente de lo que consumen y producen. Por tanto, la eficiencia que se calcula es la global, ya que todas las unidades productivas tienen como referencia a la unidad de mayor productividad, como vimos anteriormente en su definición. Gráficamente, se puede entender este modelo para una sola entrada y salida con la Figura 7 que se muestra a continuación:

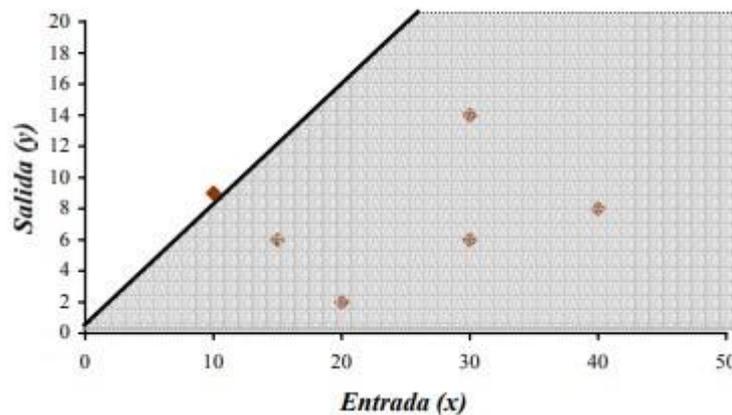


Figura 7. Representación del conjunto para una entrada y una salida de varias DMUs (CRS).

Para la figura superior los puntos marcados representan cada una de las unidades reales del problema, que en este caso son 6. Se definen las matrices X e Y de entrada y salida respectivamente. La matriz X tendrá tantas columnas como variables de entrada tenga el problema y tantas filas como DMUs se tomen para el estudio. De forma análoga ocurre para la matriz de salida Y. Tras este comentario las DMUs quedan reducidas al siguiente conjunto denominado como T_{CRS} donde λ es un vector con dimensión igual al número de DMUs que tenga el problema. El conjunto mencionado se representa de la siguiente forma en la Ecuación [8]:

$$T_{CRS} = \{(\vec{x}, \vec{y}): \exists \bar{\lambda} \geq 0, \quad \bar{\lambda}X \leq \vec{x}; \bar{\lambda}Y \geq \vec{y}\} \quad [8]$$

El conjunto T_{CRS} representa en la imagen la zona sombreada, donde las líneas discontinuas de la parte derecha y la superior derecha muestran que el conjunto se dirige hacia el infinito. La línea en negrita es conocida como la frontera eficiente, donde la marca la unidad productiva eficiente. En la frontera eficiente se encuentra la DMU eficiente o varias en caso de que haya más de una.

- **Retorno de escala variable** (*Variable Return to Scale: VRS*): se determina cuando la existencia de algunas unidades productivas de distinto tamaño al de las unidades eficientes no son capaces de conseguir la productividad de estas. Es más, el caso en que las unidades independientemente del tamaño que tengan pueden llegar a obtener la máxima productividad es un caso particular que se ha visto en la definición anterior: el caso de retorno de escala constante. En caso contrario se dice que se encuentra en el caso de retorno de escala variable, y si hay duda de su naturaleza, se puede optar por VRS. La forma de resolución es mediante la eficiencia técnica, que como se vió anteriormente, es referir cada DMU a la de productividad mayor entre las de su tamaño. Esto comentado se observa gráficamente en la Figura 8 que se muestra a continuación:

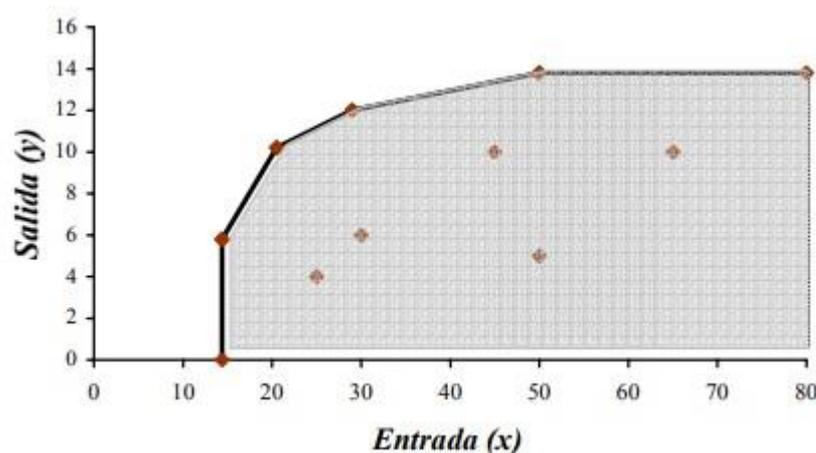


Figura 8. Representación del conjunto para una entrada y salida de varias DMUs (VRS).

Como se vio en el caso de CRS (Figura 7) los puntos marcados representan las unidades reales del caso de estudio. De la misma forma la línea discontinua de la parte derecha representa que el conjunto se dirige hacia el infinito. La frontera eficiente está representada por la línea en negrita, donde vemos que en la imagen superior (Figura 8) existen 6 puntos eficientes, ya que se encuentran en la frontera eficiente. Los demás puntos que se encuentran en la zona sombreada son categorizados como ineficientes ya que no se encuentran en la línea que marca la frontera eficiente. La zona sombreada al igual que en el caso de CRS representa el conjunto denominado como T_{VRS} . La diferencia de este nuevo conjunto con el anterior (T_{CRS}) es que ahora la suma de las componentes del vector $\bar{\lambda}$ debe sumar la unidad. Su definición se muestra en la siguiente ecuación (Ecuación [9]):

$$T_{VRS} = \{(\vec{x}, \vec{y}): \exists \bar{\lambda} \geq 0, \bar{\lambda}X \leq \vec{x}; \bar{\lambda}Y \geq \vec{y}; \bar{\lambda}\vec{e}^T = 1\} \quad [9]$$

Por último, se definirán los dos conceptos restantes para definir el caso de estudio a realizar:

- Orientación de entrada (**Input Orientation**) es referida al caso de que una determinada unidad productiva alcance la productividad de la unidad de referencia en función de que se reduzca la cantidad de recursos que consume, es decir que se disminuya la entrada. Por tanto, se busca sin modificar el valor de la salida, la máxima reducción proporcional de la entrada que se puede dar permaneciendo en la frontera eficiente. Es decir, si una unidad puede disminuir su entrada sin variar su salida quiere decir que no es eficiente y puede lograr una eficiencia mayor.
- Orientación de salida (**Output Orientation**) corresponde al caso contrario, por lo que para que una determinada DMU consiga la productividad de la unidad de referencia debe aumentar la cantidad de salidas que produce sin modificar la cantidad de las entradas. Por consiguiente, si para las mismas entradas se puede producir más o lo que es lo mismo incrementar el valor de las salidas quiere decir que no se ha alcanzado la eficiencia del modelo, dentro de la frontera eficiente, el máximo incremento correspondiente de las salidas.

4.3 Modelo de la metodología DEA a emplear: BCC-Output

Para el caso de estudio de empresas de saneamiento de aguas, se busca conducir el mayor caudal de agua residual y pluvial hacia las estaciones depuradoras para su posterior tratamiento en las EDARs correspondientes, además de tartar a la mayor población posible. Por tanto, se busca optimizar las salidas, manteniendo los recursos actuales. Por consiguiente, se tomará un modelo con **Orientación de Salida** para el análisis de eficiencia debido a que las entradas deben mantenerse constantes, ya que supondría grandes inversiones monetarias para las empresas correspondientes. Además, las empresas presentan diferentes tamaños, por lo que se podría entrar en diseconomía de escala. A causa de lo comentado, se usará como modelo de la metodología DEA el siguiente: **BCC-Output**. Las letras BCC del modelo se refieren a las siglas de los apellidos de los autores que lo crearon: Banker, Charnes y Cooper [42]. Es un modelo que puede tener orientación de entrada como de salida, en el caso de estudio como se comentó anteriormente, tiene orientación de salida. En el estudio se utilizará por ende un modelo con rendimientos de escala variables, es decir, existirá algunas DMUs que no podrán alcanzar el tamaño de otras DMUs, por lo que se compararán únicamente con aquellas de su mismo tamaño. Una vez introducido el modelo seleccionado, se procede a definir los modelos empleados para el caso de estudio.

4.3.1 Modelo BCC-Output en forma multiplicadora

Antes de expresar el modelo BCC-Output, es necesaria la definición de un modelo del cual saldrá el modelo que se quiere obtener: el modelo **Ratio**. El modelo surge debido a que la hora de calcular la eficiencia de cada DMU, se puede elegir los pesos libremente para convertir los valores de los inputs y outputs en adimensionales. Se expresa de forma analítica en la Ecuación [10]:

$$\text{MAX} \left[h_j = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}} \right] \text{ s. a: } \begin{cases} \sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij} \\ v_{kj} \geq \varepsilon \quad \forall k = 1, \dots, s \\ u_{ij} \geq \varepsilon \quad \forall i = 1, \dots, m \end{cases} \quad [10]$$

Donde ε hace referencia a un número real estrictamente positivo, es una constante (llamada noarquimediana) que es menor que cualquier número real positivo. Su función es obligar a los pesos a no ser nulos. La variable que se estudia se ha denotado como J.

El modelo consiste en resolver n problemas de maximización (debido a las n DMUs presentes en el estudio). La función objetivo da valor a los pesos de forma que la función objetivo h_j sea máxima de la unidad productiva J

a estudiar.

La primera restricción obliga a que ninguna DMU pueda obtener una eficiencia mayor que la unidad. A su vez, hay una restricción para cada unidad productiva en el problema. Las demás restricciones como se ha comentado anteriormente hacen referencia a que los pesos de cada unidad productiva deben ser estrictamente mayor que 0.

Una vez introducido el modelo ratio, se pasa a definir el modelo BCC-Output en forma multiplicadora. Para ello se linealiza el modelo Ratio. Cabe recalcar que se denomina ratio por la forma en cociente de la función objetivo. Por tanto, para linealizar el modelo debemos eliminar los cocientes en la expresión anterior. Además, hay que añadir la restricción de que cada unidad productiva J debe ser comparada sólo con las de su tamaño y no con la totalidad de las DMUs.

Para el caso de output se debe minimizar el denominador del modelo Ratio, quedando el modelo explicado de la siguiente forma en la Ecuación [11]:

$$\text{MIN} \sum_{i=1}^m u_{ij}x_{ij} - \xi_J \quad \text{s. a:} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^s v_{kj}y_{kj} - \sum_{i=1}^m u_{ij}x_{ij} + \xi_J \leq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \\ \sum_{k=1}^s v_{kj}y_{kj} = 1 \\ v_{kj} \geq \varepsilon \quad \forall k = 1, \dots, s \\ u_{ij} \geq \varepsilon \quad \forall i = 1, \dots, m \\ \xi_J \text{ libre} \end{array} \right. \quad [11]$$

Las modificaciones realizadas frente al modelo Ratio son las siguientes:

Para la función objetivo se ha linealizado donde se minimiza el denominador como se comentó y además se ha añadido la nueva variable ξ_J que indica que el plano óptimo solución de la función objetivo no pueda pasar por el origen. En el problema no existen disminuciones radiales por lo que es invariante a traslaciones de inputs.

Se obtiene un problema con n+1 restricciones (las n referidas a la primera restricción y la restante referida a la segunda restricción. Las n primeras restricciones son originadas de linealizar la condición de que todas las DMUs deben tener eficiencia menor o igual a la unidad. La segunda restricción expresa una medida de referencia a la salida virtual.

4.3.2 Modelo BCC-Output en forma envolvente

Es más frecuente usar el modelo en forma envolvente, que se origina del dual asociado al modelo lineal anterior, que por lo tanto es denominado como primal. El problema dual tiene tantas restricciones como variables tiene el problema primal, y tantas variables como restricciones tiene el problema primal. El modelo se representa en la Ecuación [12]:

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Y_J + \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] \quad \text{s. a:} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{iJ} - h_i^- \quad \forall i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = Y_J y_{kJ} + h_k^+ \quad \forall k = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0 \\ Y_J \text{ libre} \end{cases}
 \end{aligned} \quad [12]$$

Las n variables λ_j se corresponden con las n primeras restricciones del problema primal (Ecuación [11]). La variable Y_J correspondiente a la segunda restricción restante. Las variables h_k^+ y h_i^- , se denominan variables de holgura, que se corresponden a las $s+m$ cotas existentes. La resolución de este modelo tiene dos etapas, denominado como el método de las dos fases, que se explicará en el siguiente punto.

4.3.3 Método de las dos fases

Es posible que al resolver los modelos de forma envolvente en una única etapa, no se obtengan todas las holguras, debido a su obtención de forma residual, según Coelli, Parasada Rao y Battese [43]. Por consiguiente, para la obtención de todas las holguras es necesario realizar una segunda etapa, cuyo fin es maximizar la suma de las holguras de entrada y salida manteniendo el valor óptimo de Y_J que se obtiene en la primera fase de acuerdo con “Computational Accuracy and Infinitesimals In Data Envelopment Analysis” [44].

4.3.3.1 Primera etapa

Esta primera etapa tiene como finalidad obtener el valor óptimo de la variable Y_J , es decir, maximizar dicha variable para que así los valores de los Outputs aumenten hasta alcanzar la mejor combinación admisible para los mismos valores de las entradas. Esto anterior quiere decir a proyectar el punto sobre la frontera eficiente del caso de estudio, aumentando de forma radial los Outputs, a esto se debe que sea un problema con *orientación de salida*.

Por tanto, para la primera fase en el modelo **BCC-Output** del caso de estudio se tiene el siguiente modelo mostrado en la Ecuación [13]:

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Y_J \quad \text{s. a:} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{iJ} - h_i^- \quad \forall i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = Y_J y_{kJ} + h_k^+ \quad \forall k = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0 \\ Y_J \text{ libre} \end{cases}
 \end{aligned} \quad [13]$$

Se puede apreciar que cualquier DMU puede tener como solución admisible los siguientes valores:

$$\begin{aligned}
 Y_j &= 1 \\
 \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j &= 0, \quad \forall j \neq J \\
 h_i^- &= h_k^+ = 0, \quad \forall i \text{ y } \forall k
 \end{aligned}$$

Las restricciones establecen una combinación lineal entre el punto (x_{ij}, y_{kj}) , y los valores de las componentes x e y de las restantes unidades productivas del caso de estudio, dando como resultado la unidad virtual $(x_{ij}, Y_j y_{kj})$. La solución que siempre es admisible mencionada anteriormente hace referencia a tomar que el punto es combinación lineal de él mismo. Si $Y_j = 1$ y $(h_i^-, (h_k^+)) \neq 0$ para alguna entrada o salida de cualquier DMU, el término que no es nulo se proyecta paralelamente al eje correspondiente. Por otro lado, si $Y_j = 1$ y $(h_i^-, (h_k^+)) = 0$, no se produce ninguna proyección, o lo que es lo mismo, dicha DMU se proyecta sobre sí misma, siendo por tanto una unidad eficiente.

El conjunto de los puntos admisibles son los elementos del conjunto T_{VRS} como se vió anteriormente en la Ecuación [9]. Su frontera eficiente será la proyección sobre sí mismo de cualquier punto perteneciente a la envolvente. Para el caso de una sola entrada y una salida, en caso de retornos de escala variable, la forma que adquiere la frontera eficiente como se vio, se muestra en la Figura 9:

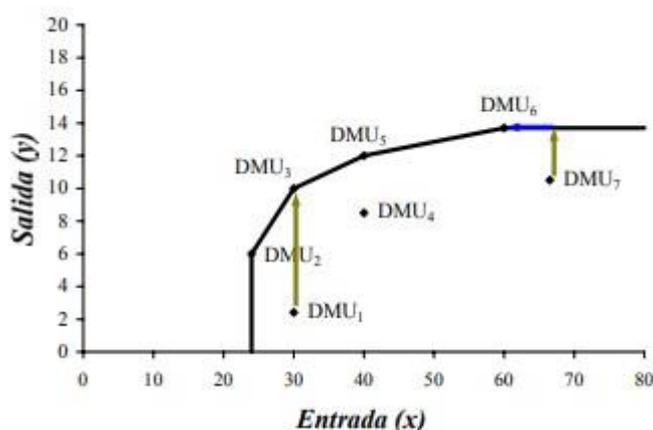


Figura 9. Ejemplo de proyección de DMUs sobre envolvente en modelo VRS.

Como se puede apreciar en la imagen, para el caso de una entrada y una salida, se estudian siete DMUs. De esas siete unidades las consideradas como eficientes son las DMU2, DMU3, DMU5 y DMU6. Por tanto, la envolvente está formada por los segmentos DMU2-DMU3, DMU3-DMU5 y DMU5-DMU6. Así, las unidades ineficientes son las unidades 1, 4 y 7. Las posibles proyecciones también se encuentran mostradas en la imagen. Las unidades 1 y 4 sólo necesitan amplificar de forma radial las salidas, sin embargo, la unidad 7 además de un aumento de forma radial de la salida, necesita una proyección en forma rectangular. Por tanto, las proyecciones mostradas en color verde (amplificación radial de las salidas) hace referencia a la primera etapa. Por otro lado, la proyección de color azul (proyección en forma rectangular) se refiere a la segunda fase.

4.3.3.2 Segunda Etapa

A partir del Y^* óptimo obtenido en la primera fase, tiene como objetivo ajustar las salidas de la forma $Y^* y_{kj}$ y se procede a maximizar los valores de las holguras de las entradas y las salidas, h_i^- y h_k^+ respectivamente, para así poder proyectar en forma rectangular. El modelo para esta segunda etapa se muestra en la Ecuación [14]:

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] \quad \text{s. a:} \quad & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{ij} - h_i^- \quad \forall i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = Y_j y_{kj} + h_k^+ \quad \forall k = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0 \\ Y_j \text{ libre} \end{array} \right.
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Las funciones objetivo de ambos problemas (Ecuación [13] y Ecuación [14]) coinciden en el óptimo, obteniendo la expresión de la Ecuación [15]:

$$h_j^* = Y_j^* + \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] = \sum_{i=1}^m u_{ij}^* x_{ij}
 \tag{15}$$

Como vimos en la Figura 9 para la unidad productiva número siete requería de una proyección en forma rectangular que corresponde con la segunda fase. Con esta proyección llega la unidad a la frontera eficiente, llegando al óptimo de la fase dos, y por tanto del problema.

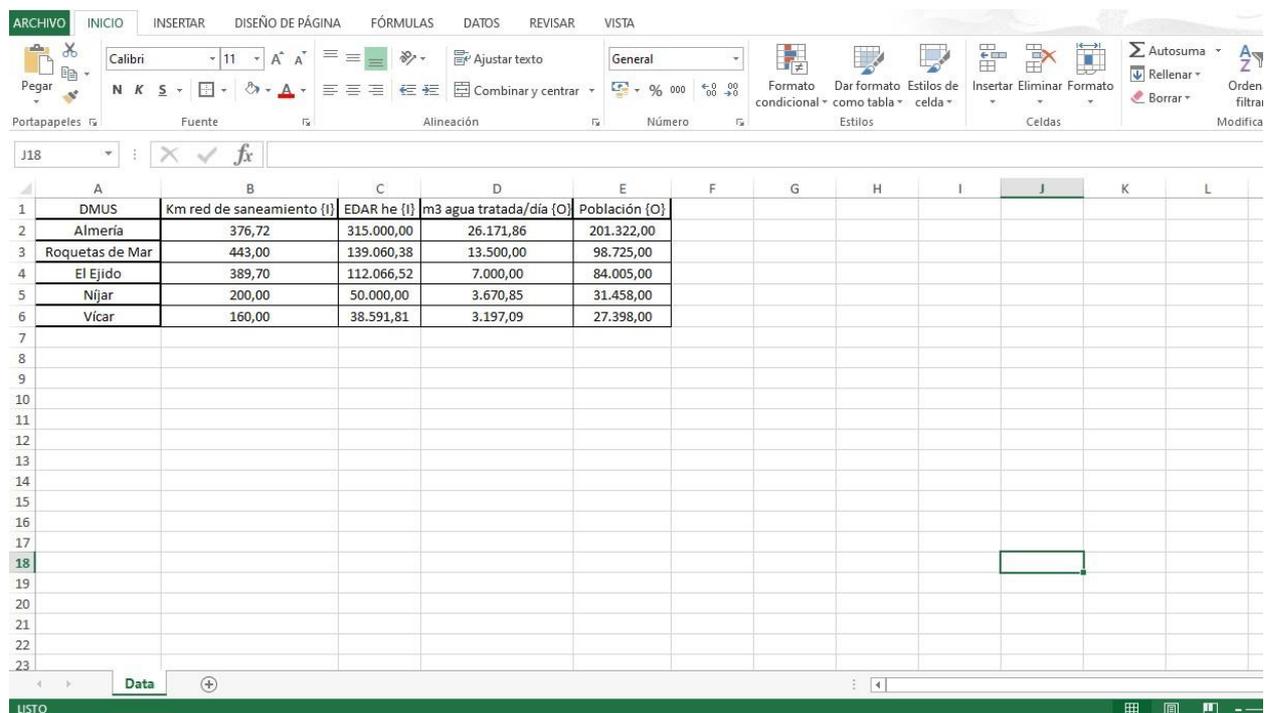
Un concepto importante es el de *peer group*, que hace referencia al conjunto de DMUs eficientes de la cual proyección de una determinada DMU es combinación lineal. Por ejemplo, volviendo al caso de la Figura 9, para la unidad productiva 1 su *peer group* es la unidad DMU3. Con esto quiere decir que la unidad analizada (DMU1 en este caso) debe proyectarse sobre la DMU3 para alcanzar la eficiencia igual a la unidad. Esta proyección es una unidad que no existe en el problema, pero cuyo tamaño de escala es el tamaño de las DMUs que conforman dicho *peer group*. Para el caso de la unidad DMU4, su *peer group* son las unidades DMU3 y DMU5 y para la unidad DMU7 es la unidad DMU6.

5 ANÁLISIS DEA MEDIANTE EMS

Para realizar el análisis de eficiencia mediante envoltura de datos se va a utilizar el software *Efficiency Measurement System (EMS)*. El software EMS, traducido al español, sistema de medición de eficiencia, sirve para realizar análisis por envoltura de datos. En el siguiente punto se va a explicar su funcionamiento detalladamente.

5.1 Funcionamiento Software EMS

En primer lugar, EMS acepta Excel 97-2003 o más antiguos, los datos deben encontrarse en una misma hoja del archivo Excel, cuyo nombre debe ser Data. La primera columna de la hoja contiene los nombres de las DMUs seleccionadas para el caso de estudio. La primera fila contiene los nombres de las entradas y las salidas seleccionadas, primero las entradas y luego las salidas, donde le corresponde una columna a cada entrada y salida. En la primera fila mencionada, los nombres de las entradas contienen la letra I entre llaves de la siguiente forma {I}. Por otro lado, los nombres de las salidas contienen la letra O entre llaves de la siguiente forma {O}. La siguiente figura (Figura 10) muestra un ejemplo de lo comentado sobre la estructura de la hoja de Excel:



DMUS	Km red de saneamiento {I}	EDAR he {I}	m3 agua tratada/día {O}	Población {O}
Almería	376,72	315.000,00	26.171,86	201.322,00
Roquetas de Mar	443,00	139.060,38	13.500,00	98.725,00
El Ejido	389,70	112.066,52	7.000,00	84.005,00
Níjar	200,00	50.000,00	3.670,85	31.458,00
Vícar	160,00	38.591,81	3.197,09	27.398,00

Figura 10. Ejemplo hoja de Excel con datos para cargar en EMS.

La Figura 10 muestra la hoja de Excel con los datos necesarios de los municipios seleccionados de la provincia de Almería para introducir en el programa EMS. Como se ha comentado, la primera columna contiene los nombres de las DMUs seleccionadas. En la primera fila aparece, en primer lugar las entradas seleccionadas (Km de red de saneamiento y EDAR he) cuyos nombres contienen la llave {I} y a continuación los nombres de las salidas seleccionadas (m3 agua tratada/día y población) cuyos nombres contienen la llave {O}.

A continuación se abre el programa EMS, el cual se puede visualizar en la siguiente figura (Figura 11):

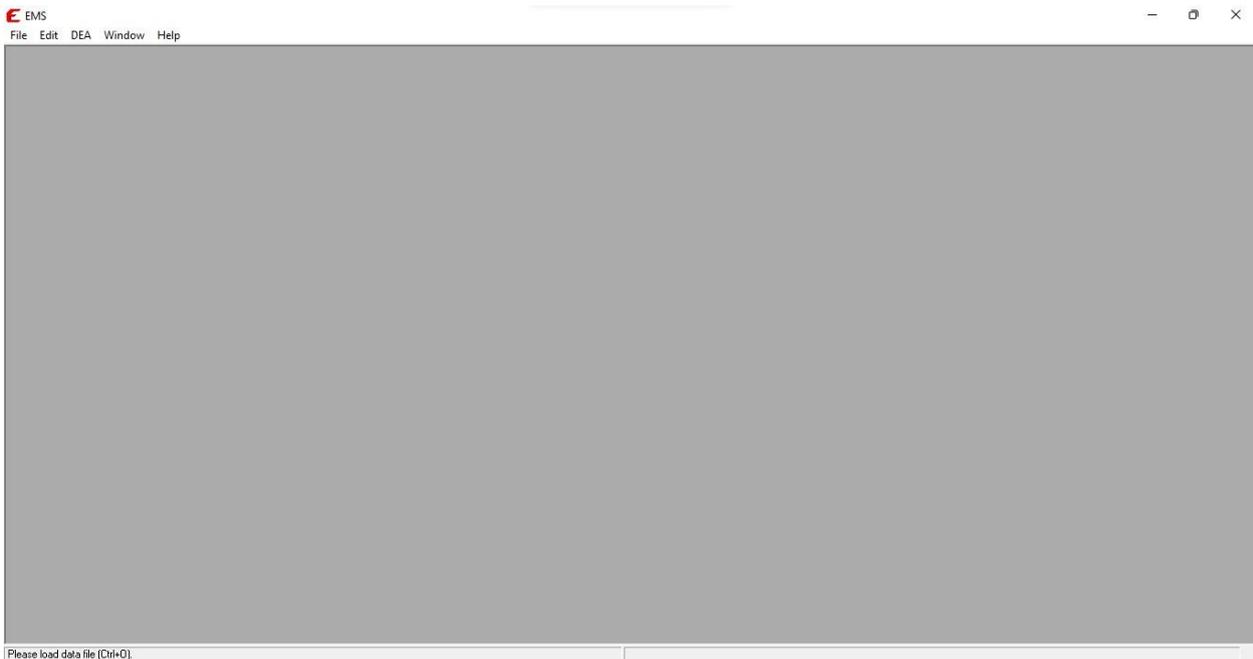


Figura 11. Software EMS (Inicio).

Una vez esté preparada la hoja de Excel se puede empezar a usar el programa EMS cargando la hoja de Excel seleccionando en el Menú la opción *File* → *Load Data*. Aparecerá una ventana, donde se procede a dirigirse a la localización del archivo de Excel en cuestión y se selecciona. Una vez cargada la hoja de Excel se procede a ejecutar el modelo de DEA seleccionado para el caso de estudio. Para ello se selecciona en el Menú la opción *DEA* → *Run Model*. Se abre una nueva ventana para modificar el modelo al gusto, la cual se muestra en la Figura 12:

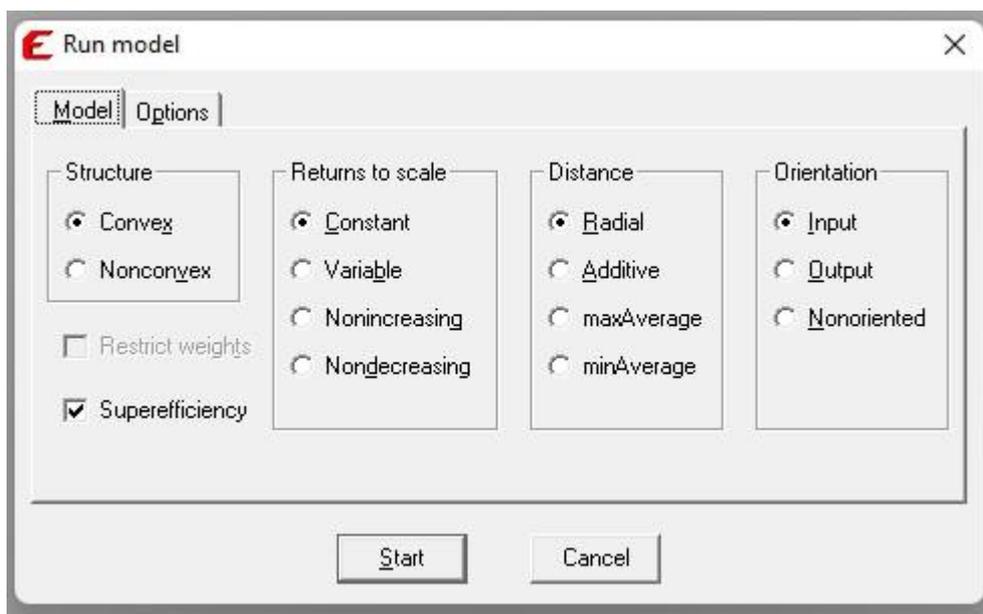


Figura 12. Run Model DEA (EMS).

En el caso de estudio, para la estructura seleccionamos convexa (*Structure Convex*), retorno de escala variable (*Returns to scale Variable*), en distancia radial (*Distance Radial*) y orientación de salida (*Orientation Output*). La opción de *Superefficiency* viene por defecto, donde para el caso de estudio se realizará el análisis con y sin

la opción comentada. Según el manual de usuario de EMS (“EMS: Efficiency Measurement System User’s Manual”[45] se define la supereficiencia para las DMU eficientes como una puntuación que indica el cambio radial máximo que es factible para que la DMU en cuestión permanezca eficiente. Formalmente, se define como la puntuación estándar (la eficiencia considerada “normal”) pero la DMU evaluada se encuentra excluida de las restricciones. Para las DMU consideradas ineficientes la supereficiencia coincide con la puntuación estándar. Si se selecciona la casilla de supereficiencia y aparece en alguna DMU la palabra *big* significa que la DMU sigue siendo eficiente bajo condiciones arbitrarias de gran aumento de las entradas (*input oriented*) o reducción de las salidas (*output oriented*), respectivamente. La opción de Supereficiencia sirve para clasificar las DMUs eficientes en más o menos eficientes. Cuanto más pequeño sea el porcentaje de Supereficiencia de la DMU, más eficiente se considera dicha DMU. Las variables con Supereficiencia de valor *big* no pueden mejorar su eficiencia ni empujarla. Los resultados de puntuación con valor *big* se consideran outlier, que es una observación anormal y extrema que puede afectar a la estimación de los parámetros, por tanto se quita del análisis. En algunas ocasiones, la DMU con puntuación *big* se incluirá en el análisis si no hay tantas DMUs eficientes como se necesita. El dato *big* aparece cuando la eficiencia técnica es un outlier para una prueba t de Student con 95% de nivel de confianza sobre la variable *Score*.

Una vez ejecutado el modelo seleccionado, el programa EMS muestra una tabla con la eficiencia de las DMUs seleccionadas. Para el caso de los datos de la Hoja de Excel mostrada en la Figura 10 se muestra la tabla de eficiencia de las DMUs seleccionadas para comentar el significado de cada una de las columnas que aparecen en la tabla generada por el programa en la siguiente figura (Figura 13):

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}{V}	EDAR he {I}{V}	m3 agua tratada/día {O}{V}	Población {O}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Almería	100,000%	1,00	0,00	0,00	1,00		0			
2	Roquetas de Mar	100,000%	0,00	1,00	1,00	0,00		1			
3	El Ejido	100,000%	0,00	1,00	0,00	1,00		1			
4	Níjar	113,587%	0,00	1,00	0,12	0,88	2 (0,0749) 3 (0,0529) 5 (0,8722)	6,662987	0,000222	0,000092	0,000390
5	Vícar	100,000%	1,00	0,00	0,51	0,49		1			

Figura 13. Ejemplo de tabla generada por EMS.

Las filas que aparecen en color azul significan que son DMUs eficientes (*Almería, Roquetas de Mar, El Ejido y Vícar*), por otro lado, las que aparecen en color blanco son consideradas ineficientes (*Níjar*). La primera columna de *DMU* muestra las DMUs seleccionadas para el caso de estudio. La segunda columna de *Score* muestra la puntuación de eficiencia de la DMU (en tanto por cien). Cabe destacar que cuando se habla de eficiencia se habla de eficiencia en comparación del resto de DMUs. En el caso de la Figura 13 no se ha seleccionado la casilla de supereficiencia. Como se comentó anteriormente, para las DMUs ineficientes su puntuación (*Score*) coincide con la puntuación de supereficiencia pero para las DMUs eficientes cambia. Después de explicar que significa cada columna se mostrará otra figura con la casilla de supereficiencia seleccionada para comentar las diferencias. Para las DMUs consideradas eficientes su puntuación de eficiencia es igual al 100%, y para las ineficientes mayor del 100%. Las siguientes cuatro columnas (*Km red de saneamiento {I}{V}*, *EDAR he {I}{V}*, *m3 agua tratada/día {O}{V}* y *Población {O}{V}*) hacen referencia a las entradas y salidas virtuales, donde la I u O entre llaves hacen referencia a que la variable es entrada o salida respectivamente, y la V entre llaves hace referencia a que es una entrada o salida virtual. Los pesos de las entradas o salidas virtuales son los pesos de las variables del modelo primal. En la teoría del DEA se definieron los pesos para las entradas o salidas dándoles el nombre u_{ij} para las entradas y v_{ij} para las salidas. Los pesos fueron mostrados en la Ecuación [2] para las entradas y en la [3] para las salidas. Por tanto, dichas columnas muestran el valor de 0 a 1 de los pesos de las entradas y salidas virtuales. La suma de los pesos de las entradas debe ser igual a 1. De la misma forma para las salidas. La columna de *Benchmarks* tiene dos significados diferentes. Si se trata de una DMU eficiente, dicha columna muestra el número de DMUs ineficientes que han escogido la DMU eficiente como referencia, es decir, el número de DMUs ineficientes que se han proyectado sobre dicha DMU para poder ser eficientes. Para las DMU ineficientes, la columna de *Benchmarks* muestra en primer lugar la DMU eficiente sobre la que se ha

proyectado y entre paréntesis el valor de la holgura λ . Por último, las cuatro columnas ($\{S\}$ Km red de saneamiento $\{I\}$, $\{S\}$ EDAR he $\{I\}$, $\{S\}$ m3 agua tratada/día $\{O\}$ y $\{S\}$ Población $\{O\}$) corresponden a las holguras que presentan los modelos no eficientes. Cabe destacar que tanto para las columnas de entradas y salidas virtuales como para las columnas de las holguras de las entradas y salidas habrá tantas columnas como entradas y salidas haya. En nuestro caso hay dos entradas y dos salidas, por lo tanto hay cuatro columnas de pesos de entradas y salidas y cuatro columnas de holguras. Si se señala la casilla de *Superefficiency* como se comentó antes se obtiene los siguientes resultados mostrados en la Figura 14:

	DMU	Score	Km red de saneamiento $\{I\}$	EDAR he $\{I\}$	m3 agua tratada/día $\{O\}$	Población $\{O\}$	Benchmarks	$\{S\}$ Km red de saneamiento $\{I\}$	$\{S\}$ EDAR he $\{I\}$	$\{S\}$ m3 agua tratada/día $\{O\}$	$\{S\}$ Población $\{O\}$
1	Almería	40,741%	0,47	0,00	0,00	1,00		0			
2	Roquetas de Mar	85,540%	0,00	0,86	1,00	0,00		1			
3	El Ejido	94,710%	0,00	0,95	0,00	1,00		1			
4	Níjar	113,587%	0,00	1,16	0,12	0,88	2 (0,0749) 3 (0,0529) 5 (0,8722)	6,662987	0,000222	0,000092	0,000390
5	Vícar	big	20214568,72	0,72	0,51	0,49		1			

Figura 14. Ejemplo de tabla generada por EMS (Supereficiencia).

Como se puede observar comparando ambas tablas, las únicas columnas que cambian son las columnas de *Score* para las DMUs eficientes, y las columnas de los pesos de las entradas virtuales, al tener orientación de salida. Es decir, las columnas de los pesos de las salidas virtuales, los valores de las columnas de *Benchmarks* y las holguras siguen siendo los mismos. Como se comentó anteriormente las puntuaciones de eficiencia (*Score*) para las DMUs ineficientes no cambian, son las mismas. Sin embargo, para las DMUs eficientes sí lo hacen tal y como muestra la Figura 14.

Una vez explicado el funcionamiento del programa y el significado de los resultados proporcionados por el mismo se procede a resolver el problema del caso de estudio del trabajo. A continuación se muestra un esquema básico del problema a resolver (Figura 15) para una mayor claridad y visualización del caso dado.



Figura 15. Esquema del problema.

5.2 Análisis DEA por provincias

En primer lugar, se va a realizar el análisis por envoltura de datos de los cinco municipios seleccionados de cada provincia mediante el software comentado EMS. Se va a diferenciar por provincias para así poder comparar la eficiencia de los municipios pertenecientes a la misma provincia y seleccionar los dos municipios más eficientes.

5.2.1 Cádiz

En la siguiente tabla (Tabla 34) se muestra la eficiencia del saneamiento referida a los cinco municipios

seleccionados de la provincia de Cádiz mediante el programa EMS.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}{V}	EDAR he {0}{V}	m3 agua tratada/día {0}{V}	Población {0}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {0}	{S} EDAR he {0}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Jerez de la Frontera	100,00%	0,17	0,83	0,00	1,00		0			
2	Algeciras	113,15%	0,00	1,00	0,00	1,00	3 (0,432) 5 (0,568)	41,322419	0,000292	13787,742237	0,000095
3	Cádiz y San Fernando	100,00%	1,00	0,00	0,24	0,76		2			
4	El Puerto de Santa María	140,97%	0,00	1,00	0,00	1,00	3 (0,319) 5 (0,681)	7,704454	0,000010	2857,198858	0,000011
5	Chiclana de la Frontera	100,00%	0,00	1,00	0,01	0,99		2			

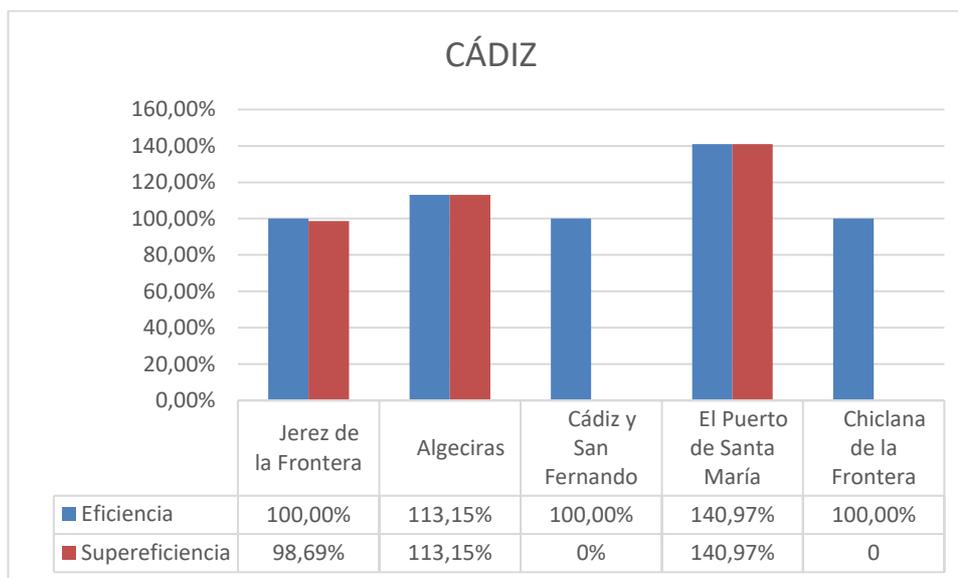
Tabla 34. Eficiencia saneamiento provincia de Cádiz.

Como se puede observar en la Tabla 34 hay tres municipios que han sido catalogados como eficientes según el software EMS, Jerez de la Frontera, Cádiz y San Fernando, y Chiclana de la Frontera. Se van a comentar uno por uno. En primer lugar, la eficiencia del municipio de Jerez de la Frontera es del 100%. Los pesos de las entradas virtuales son de 0,17 para la variable de km de red de saneamiento y de 0,83 para la variable de EDAR he. El peso de la salida virtual de la variable de población es de la unidad y por tanto para la variable de salida virtual de m3 de agua tratada al día es nulo. Esto quiere decir que para que la DMU de Jerez de la Fra. sea eficiente en comparación con el resto en cuanto a las salidas virtuales se le ha dado más importancia a la población que al caudal de agua tratada al día y al igual que en las entradas virtuales se le ha dado más importancia a la EDAR he que a la longitud de la red de saneamiento debido a que los pesos considerados por EMS son mayores como se puede observar. La columna de *Benchmarks* muestra que ninguna DMU ineficiente ha tomado Jerez de la Fra. como referencia al tener el valor de 0. Los valores de las holguras de las entradas y salidas son nulos debido a que la DMU en cuestión es eficiente. En el municipio de Algeciras se tiene una puntuación del 113,15%, por tanto considerado ineficiente. El valor del peso de la entrada virtual de EDAR he es la unidad y por tanto el peso de la longitud de la red de saneamiento es nulo. De igual forma ocurre para los valores de los pesos de las salidas virtuales, la unidad para la población y nulo para el caudal diario de agua tratada. Por consiguiente, para las salidas se le da más importancia a la población y para las entradas tiene más peso la EDAR he. En cuanto a las DMUs de referencias para esta DMU ineficiente, se ha tomado como referencia la DMU 3 con un valor de holgura de 0,432, y la DMU 5 con valor 0,568. Los valores de las holguras de las variables se muestran también en la Tabla 34. Los municipios de Cádiz-San Fernando han sido catalogados como eficiente. Se ha considerado la longitud de la red de saneamiento más importante, al tener como valor del peso la unidad y por tanto nulo para la otra entrada. La población vuelve a tener más peso para las salidas, al tener un valor del peso mayor que el peso del caudal de agua tratada. Dos DMUs han tomado como referencia la DMU estudiada, la DMU Algeciras y El Puerto de Santa María. Las holguras son nulas debido a que la DMU es eficiente. El Puerto de Santa María es considerado ineficiente con una puntuación de 140,97%. Se ha dado más peso a la EDAR he con un valor de la unidad, y por consiguiente un valor nulo para la longitud de la red de saneamiento. En cuanto a las salidas virtuales, la población tiene como peso la unidad y por tanto el caudal de agua tratado tiene peso nulo. Se ha tomado como referencia la DMU de Cádiz-San Fernando con valor de holgura 0,319 y la DMU Chiclana de la Frontera con valor 0,681. Las holguras se muestran también en la tabla anterior. El quinto y último municipio seleccionado, Chiclana de la Fra. tiene una puntuación del 100%, y por tanto es considerado eficiente. En cuanto a las entradas virtuales, se ha dado más peso a la EDAR he con valor de la unidad. Para las salidas, de nuevo la población vuelve a tener un peso de casi la unidad, con un valor de 0,99. Se ha tomado como referencia para dos DMUs, la DMU de Algeciras y El Puerto de Santa María. Sus holguras son nulas. A continuación se va a mostrar una tabla (Tabla 35) con la casilla de supereficiencia seleccionada para así ver cuáles son las dos más eficientes de las tres consideradas eficientes.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}\{V}	EDAR he {0}\{V}	m3 agua tratada/día {0}\{V}	Población {0}\{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {0}	{S} EDAR he {0}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Jerez de la Frontera	98,69%	0,00	0,00	0,00	1,00		0			
2	Algeciras	113,15%	0,00	0,75	0,00	1,00	3 (0,432) 5 (0,568)	41,322419	0,000292	13787,742237	0,000095
3	Cádiz y San Fernando	big	3615108,68	0,01	0,24	0,76		2			
4	El Puerto de Santa María	140,97%	0,00	0,89	0,00	1,00	3 (0,319) 5 (0,681)	7,704454	0,000010	2857,198858	0,000011
5	Chiclana de la Frontera	big	1,45 379,77	0,01	0,99	0,99		2			

Tabla 35. Eficiencia saneamiento provincia de Cádiz (Supereficiencia).

Como se comentó anteriormente en la explicación del funcionamiento del software EMS, las únicas columnas que cambian al seleccionar la casilla de supereficiencia son la de *Score* para las DMUs eficientes y los pesos de las entradas y salidas virtuales. Se puede observar que las DMUs Cádiz-San Fernando y Chiclana de la Fra. tienen un *Score* con la palabra *big*, por tanto las DMUs siguen siendo eficientes bajo condiciones arbitrarias de reducción de las salidas, ya que su orientación es de salida. Esto explica que los valores de los pesos para dichas DMUs tengan esos valores dispares, y que no sumen la unidad del caso general (definiendo como normal el no seleccionar casilla de *Superefficiency*). El resto de las columnas como se puede ver siguen teniendo los mismos valores. A continuación se muestra un gráfico (Gráfica 1) de los valores de la eficiencia y supereficiencia de los municipios seleccionados de la provincia de Cádiz para su mayor claridad:



Gráfica 1. Eficiencia saneamiento provincia de Cádiz.

Los valores de la supereficiencia de los municipios de Cádiz-San Fernando y Chiclana de la Fra. son nulos debidos a que su valor es *big*, por tanto se ha puesto en el gráfico como nulo.

Por consiguiente, para el posterior estudio de los dos municipios seleccionados de cada provincia se van a escoger los municipios de **Jerez de la Fra.** y **Chiclana de la Fra.** debido a que son los dos eficientes. Jerez de la Fra. es el que mayor eficiencia tiene y se ha escogido Chiclana de la Fra. como se podría haber escogido Cádiz-San Fernando, ya que los dos tienen Supereficiencia de valor *big*.

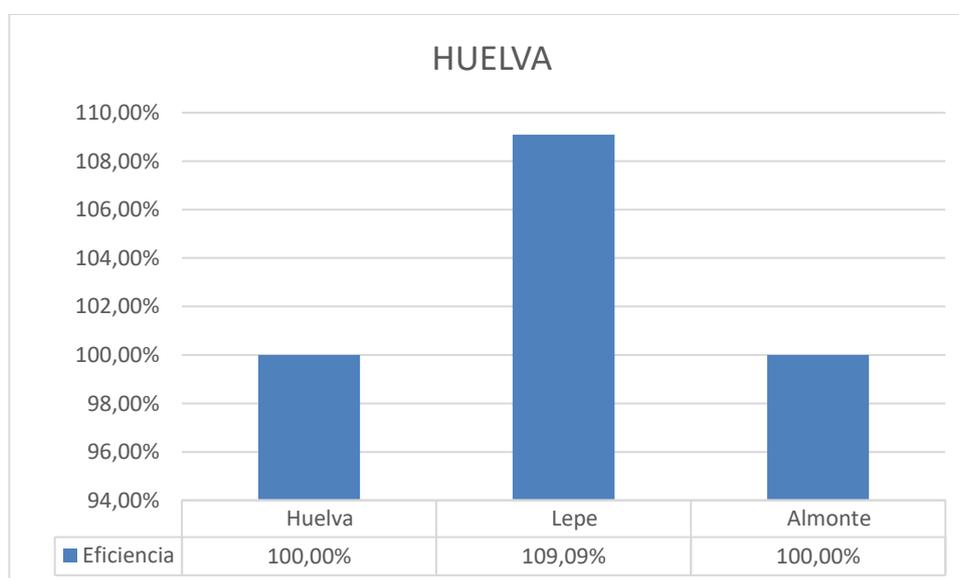
5.2.2 Huelva

En primer lugar se va a mostrar la tabla (Tabla 36) con las puntuaciones de eficiencia de los tres municipios seleccionados de la provincia de Huelva:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}{V}	EDAR he {0}{V}	m3 agua tratada/día {0}{V}	Población {0}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {0}	{S} EDAR he {0}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Huelva	100,00%	0,27	0,73	0,24	0,76		1			
2	Lepe	109,09%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,053) 3 (0,947)	0,000000	27409,572444	3605,399986	0,000003
3	Almonte	100,00%	0,00	1,00	0,04	0,96		1			

Tabla 36. Eficiencia saneamiento provincia de Huelva.

Como se puede observar, se han obtenido dos DMUs eficientes: el municipio de Huelva y de Almonte. La eficiencia del municipio de Huelva es del 100%, al ser considerado eficiente por el programa. El peso de las entradas virtuales es de 0,27 para la longitud de la red de saneamiento y de 0,73 para la EDAR he, teniendo por tanto más peso esta segunda variable de entrada. Las salidas virtuales se comportan de manera parecida, teniendo un peso de 0,24 la variable de salida del caudal diario de agua tratada y de 0,76 la población. La DMU ineficiente de Lepe ha tomado como referencia dicha DMU mostrada en la columna de *Benchmarks*. Sus holguras son nulas al ser considerada como eficiente. La DMU de Lepe es considerada ineficiente según el software EMS con una puntuación de 109,09%. Para las entradas virtuales, se tiene peso de la unidad de la longitud de la red de saneamiento, teniendo por tanto el peso completo de las entradas virtuales. Lo mismo ocurre para la variable de salida de la población, cuyo valor del peso es de la unidad y por tanto, el peso de la otra variable de salida *caudal diario de agua tratada* es nulo. Ha tomado como referencia las dos DMUs eficientes del estudio, con un valor de holgura de 0,053 para la DMU de Huelva y con valor de 0,947 para la DMU de Almonte. Las holguras del dual son las mostradas en la Tabla 36. El municipio de Almonte es por tanto considerado también como eficiente. El peso de las entradas virtuales es nulo para la longitud de la red de saneamiento y por consiguiente de la unidad para la EDAR he. Para las salidas virtuales, el peso de la población es casi de la unidad con un valor exacto de 0,96 y el valor del peso del caudal diario de agua tratada es de 0,04. Como se comentó, la DMU de Lepe tomó como referencia la DMU de Almonte para llegar a ser eficiente, por tanto, Almonte tiene una DMU ineficiente que la ha tomado como referencia. Las holguras vuelven a ser nulas, al ser dicha DMU eficiente. Para la provincia de Huelva, no se ha calculado la tabla generada por EMS con la casilla de Supereficiencia seleccionada debido a que se han obtenido dos DMUs eficientes y no más. Por tanto, no hace falta comparar las DMUs eficientes ya que se han obtenido las dos DMUs necesarias para el posterior análisis de los dos mejores municipios de cada provincia. A continuación se muestra la Gráfica 2, para ver con mayor claridad la eficiencia de las DMUs seleccionadas para el estudio de la provincia de Huelva.



Gráfica 2. Eficiencia saneamiento provincia de Huelva.

A diferencia de la Gráfica 1, esta gráfica (Gráfica 2) no muestra la Supereficiencia por lo anterior comentado.

5.2.3 Córdoba

La siguiente tabla (Tabla 37) muestra la eficiencia del saneamiento de los cinco municipios seleccionados de la provincia de Córdoba.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}\{V}	EDAR he {0}\{V}	m3 agua tratada/día {0}\{V}	Población {0}\{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {0}	{S} EDAR he {0}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Córdoba	100,00%	0,51	0,49	1,00	0,00		1			
2	Lucena	100,00%	1,00	0,00	0,98	0,02		2			
3	Puente Genil	148,17%	0,00	1,00	0,00	1,00	1 (0,005) 2 (0,995)	20,837104	0,001515	545,258308	0,001766
4	Montilla	137,06%	0,00	1,00	0,00	1,00	2 (0,429) 5 (0,571)	14,365714	0,000001	124,375516	0,000002
5	Priego de Córdoba	100,00%	0,52	0,48	0,13	0,87		1			

Tabla 37. Eficiencia saneamiento provincia de Córdoba.

Tres de los cinco municipios han sido caracterizados como eficientes según el programa. El municipio de Córdoba tiene una puntuación del 100%, por tanto, es eficiente. Para las entradas virtuales, se tienen pesos muy parecidos con valores de 0,51 para la longitud de la red de saneamiento y de 0,49 para la EDAR he. Sin embargo, para las salidas virtuales se ha obtenido un valor del peso de la unidad para la variable del caudal diario de agua tratada y por consiguiente un valor nulo para la variable de población. Existe una DMU ineficiente que ha tenido como referencia la DMU de Córdoba. Las holguras son nulas como era de esperar, al ser la DMU considerada eficiente. La DMU de Lucena también es considerada eficiente con una puntuación del 100% por consiguiente. El peso de la variable de entrada de la longitud de la red de saneamiento es de la unidad, haciendo que el valor del peso de la otra variable de entrada sea nulo. De manera similar ocurre para las salidas virtuales, aunque por poco no llega a la unidad. Los valores de los pesos de las variables de salida son de 0,98 para el caudal diario de agua tratada y de 0,02 para la población. Dos DMUs ineficientes han tomado como referencia a la DMU de Lucena. Las holguras del dual vuelven a ser nulas. La DMU de Puente Genil es considerada ineficiente con una puntuación de 148,17%. Para las entradas virtuales sus pesos son de 0 y 1 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. Para las salidas virtuales los valores de los pesos son de 0 y 1 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Se ha proyectado en dos DMU eficientes, por un lado se ha proyectado en la DMU de Córdoba con un valor de holgura de 0,005 y por otro lado en la DMU de Lucena con una holgura de 0,995. Los valores de las holguras del dual se encuentran representadas en la Tabla 37. El municipio de Montilla se ha considerado también ineficiente con una puntuación de 137,06%. Los valores de los pesos de las entradas y de las salidas virtuales coinciden con los pesos de las entradas y salidas virtuales de la DMU anterior (DMU Puente Genil), es decir, para las entradas virtuales, el peso de la EDAR he es la unidad, y para la salida virtual el peso de la población es de la unidad. Se ha proyectado en la DMU de Lucena con una holgura de 0,429 y en la DMU de Priego de Córdoba con una holgura de 0,571. Los valores de las holguras del dual se muestran también en la Tabla 37. La última DMU estudiada en la provincia de Huelva es la DMU Priego de Córdoba considerada eficiente, y por tanto con una puntuación del 100%. Los pesos de las entradas virtuales son muy parecidos con valores de 0,52 y 0,48 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. No obstante, para las salidas virtuales los pesos son más dispares, con valores de 0,13 y 0,87 para las variables de salida del caudal diario de agua tratada y población respectivamente. Hay una DMU ineficiente que ha tomado a dicha DMU como referencia, la DMU de Lucena como se comentó anteriormente. Al ser una DMU eficiente las holguras del dual son nulas.

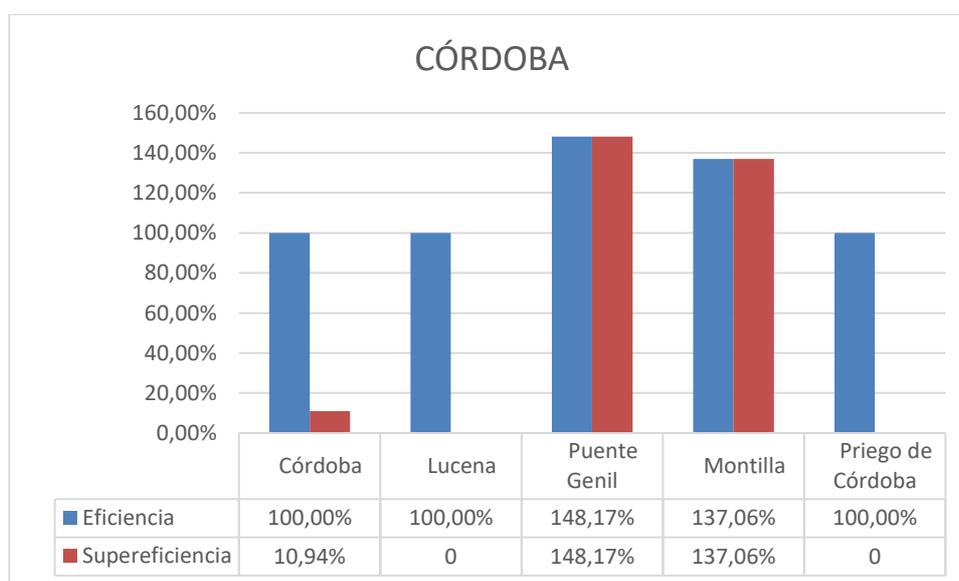
Como se han obtenido tres DMUs eficientes, se va a obtener la tabla proporcionada por EMS con la casilla de

Supereficiencia marcada (Tabla 38) para así poder ver cual de las tres DMUs eficientes es menos eficiente y descartarla.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}{V}	EDAR he {0}{V}	m3 agua tratada/día {0}{V}	Población {0}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {}	{S} EDAR he {}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Córdoba	10,94%	0,00	0,00	1,00	0,00		1			
2	Lucena	big	02490802,38	0,00	0,98	0,02		2			
3	Puente Genil	148,17%	0,00	0,57	0,00	1,00	1 (0,005) 2 (0,995)	20,837104	0,001515	545,258308	0,001766
4	Montilla	137,06%	0,00	2,29	0,00	1,00	2 (0,429) 5 (0,571)	14,365714	0,000001	124,375516	0,000002
5	Priego de Córdoba	big	2468127,13	0863,87	0,13	0,87		1			

Tabla 38. Eficiencia saneamiento provincia de Córdoba (Supereficiencia).

Como se puede observar, las DMUs Lucena y Priego de Córdoba obtienen en la casilla de puntuación el valor *big* y la DMU Córdoba una puntuación de 10,94%. Las dos DMUs eficientes seleccionadas de la provincia de Córdoba son **Córdoba** y **Lucena**. Córdoba se ha escogido ya que es la que tiene mayor eficiencia y Lucena se ha escogido como se podría haber elegido Priego de Córdoba, ya que no hay otra DMU con valor de Supereficiencia distinto de *big*. A continuación se muestra la Gráfica 3 para ver con mayor claridad las puntuaciones de las cinco DMUs seleccionadas de la provincia de Córdoba:



Gráfica 3. Eficiencia saneamiento provincia de Córdoba.

Al igual que en la Gráfica 1 la Supereficiencia de las DMUs con valor *big* aparecen en la Gráfica 3 con valor nulo, en este caso Lucena y Priego de Córdoba.

5.2.4 Jaén

La siguiente tabla (Tabla 39) muestra la eficiencia del saneamiento de los cinco municipios seleccionados de la provincial de Jaén:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}\V	EDAR he {I}\V	m3 agua tratada/día {O}\V	Población {O}\V	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Jaén	100,00%	0,11	0,89	0,51	0,49		0			
2	Linares	100,00%	1,00	0,00	1,00	0,00		0			
3	Andújar	100,00%	0,21	0,79	0,00	1,00		0			
4	Úbeda	100,00%	1,00	0,00	0,00	1,00		0			
5	Alcalá la Real	100,00%	0,00	1,00	0,94	0,06		0			

Tabla 39. Eficiencia saneamiento provincia de Jaén.

Para la provincia de Jaén, las cinco DMUs se han catalogado como eficientes según el programa EMS. Las puntuaciones obtenidas para cada una de ellas son por tanto del 100%. Ninguna DMU ineficiente se ha proyectado sobre alguna DMU eficiente debido a que como se observa no resulta ninguna DMU como ineficiente. Las holguras de cada una de ellas son nulas debido a que son eficientes. Para la DMU Jaén el peso de la entrada virtual EDAR he cobra más importancia debido a su cercano valor a la unidad (0,89) que la otra entrada de la longitud de la red de saneamiento cuyo valor del peso es de 0,11. Las salidas virtuales tienen pesos parecidos con valores de 0,51 y 0,49 para el caudal diario de agua tratada y población respectivamente. En el caso de la DMU Linares, los pesos son nulos para la variable de entrada de EDAR he y para la variable de salida población. Por consiguiente, los pesos de las variables de longitud de la red de saneamiento y caudal diario de agua tratada son igual a uno. Para la DMU Andújar, en el caso de las entradas virtuales, cobra más importancia la variable de EDAR he, al tener un valor el peso de 0,79, que la variable longitud de la red de saneamiento cuyo valor del peso es de 0,21. En cuanto a las salidas virtuales, la población tiene un peso de la unidad y por tanto el peso del caudal diario de agua tratado es nulo. Los pesos de las entradas virtuales de la DMU Úbeda son 1 y 0 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. Para las salidas virtuales sus pesos son de 0 y 1 para las variables de caudal diario de agua tratada y población respectivamente. Por último, para la DMU Alcalá La Real, el peso de la EDAR he es de la unidad y por tanto el peso de la longitud de la red de saneamiento es nulo. En cuanto a las salidas virtuales, el peso del caudal diario de agua tratada es de 0,94 cobrando más importancia que la variable de población cuyo peso es de 0,06.

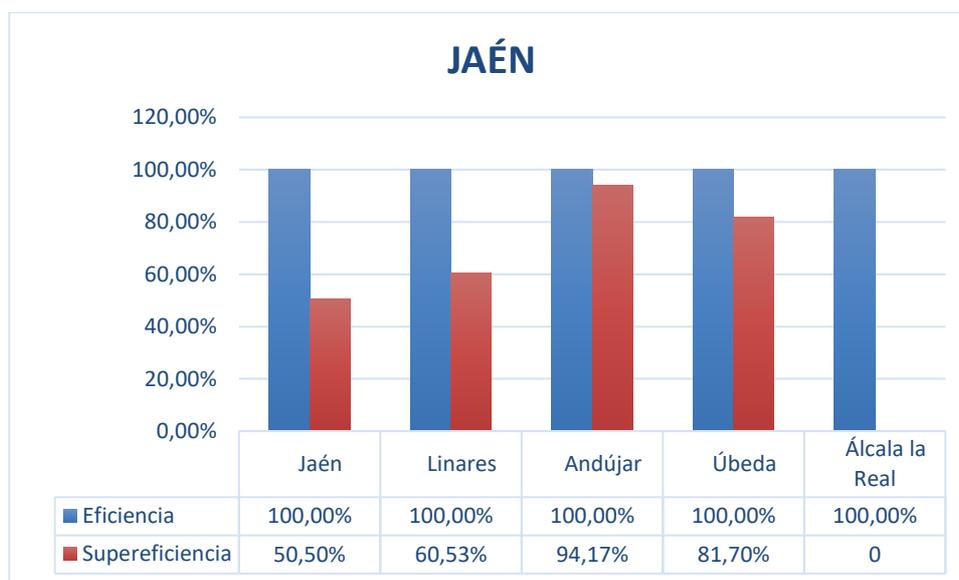
Al ser todas las DMUs seleccionadas eficientes hay que obtener la tabla generada por EMS con la casilla de Supereficiencia marcada (Tabla 40) para así poder comparar la puntuación de eficiencia y elegir las dos más eficientes de la provincia de Jaén.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}\V	EDAR he {I}\V	m3 agua tratada/día {O}\V	Población {O}\V	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Jaén	50,50%	0,00	0,00	0,51	0,49		0			
2	Linares	60,53%	0,24	0,00	1,00	0,00		0			
3	Andújar	94,17%	0,14	0,53	0,00	1,00		0			
4	Úbeda	81,70%	1,53	0,00	0,00	1,00		0			
5	Alcalá la Real	big	3,88	1225,56	0,94	0,06		0			

Tabla 40. Eficiencia saneamiento provincia de Jaén (Supereficiencia).

Como se conoce cuanto más pequeño sea el valor de la puntuación (*Score*) más eficiente será la DMU. Se puede observar que la DMU Alcalá la Real tiene de valor de puntuación *big*, por lo que queda descartada como una de las dos DMUs más eficientes de la provincia de Jaén. La DMU más eficiente es la DMU Jaén con una puntuación de 50,50%, le sigue la DMU Linares cuya puntuación es de 60,53%. La siguiente DMU más eficiente es la del municipio de Úbeda. En el último lugar se encuentra la DMU de Andújar con una puntuación de 94,17%. Por consiguiente, las dos DMUs más eficientes de la provincia de Jaén son **Jaén y Linares**. A continuación, se observa la Gráfica 4 que muestra la eficiencia y Supereficiencia de los cinco municipios seleccionados para el

caso de estudio de la provincia de Jaén:



Gráfica 4. Eficiencia saneamiento provincia de Jaén.

5.2.5 Sevilla

Como en el resto de las provincias vistas, en primer lugar se muestra la tabla con los valores de la eficiencia de los cinco municipios elegidos de la provincia de Sevilla (Tabla 41):

	DMU	Score	Km red de saneamiento {V}	EDAR he {V}	m3 agua tratada/día {V}	Población {V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {}	{S} EDAR he {}	{S} m3 agua tratada/día {}	{S} Población {}
1	Sevilla	100,00%	0,00	1,00	0,44	0,56		2			
2	Dos Hermanas	101,47%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,153) 5 (0,847)	0,000003	20597,087467	253,159667	0,001535
3	Alcalá de Guadaíra	102,93%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,059) 5 (0,941)	0,000001	12283,736866	281,200674	0,000404
4	Utrera	100,00%	1,00	0,00	1,00	0,00		0			
5	Écija	100,00%	1,00	0,00	0,09	0,91		2			

Tabla 41. Eficiencia saneamiento provincia de Sevilla.

Como se puede observar, los municipios de la provincia de Sevilla tienen una gestión del saneamiento muy eficiente, ya que tres de los cinco son eficientes, al tener puntuación del 100%, y los otros dos tienen una puntuación cercana al 100%. El municipio de Sevilla es uno de los tres municipios eficientes. Para las entradas virtuales en la variable de EDAR he recae todo el peso de las entradas y por consiguiente el peso de la otra variable de entrada es nulo. En cuanto a las salidas virtuales, poseen pesos similares de 0,44 y 0,56 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Las dos DMUs ineficientes de la provincia ha tomado como referencia la DMU Sevilla como muestra la columna *Benchmark*. Las holguras del dual son nulas, al ser eficiente. El municipio de Dos Hermanas es ineficiente con una puntuación de 101,47%. En cuanto a las entradas virtuales, la longitud de la red de saneamiento tiene como peso la unidad y por tanto el peso de la EDAR es nulo. Para las salidas virtuales, el peso de la variable del caudal diario de agua tratada es nulo y por consiguiente el peso de la variable de población es la unidad. Para llegar a ser eficiente ha tomado como referencia las DMUs Sevilla y Écija con holguras de 0,153 y 0,847 respectivamente. Las holguras del dual son las que muestra la

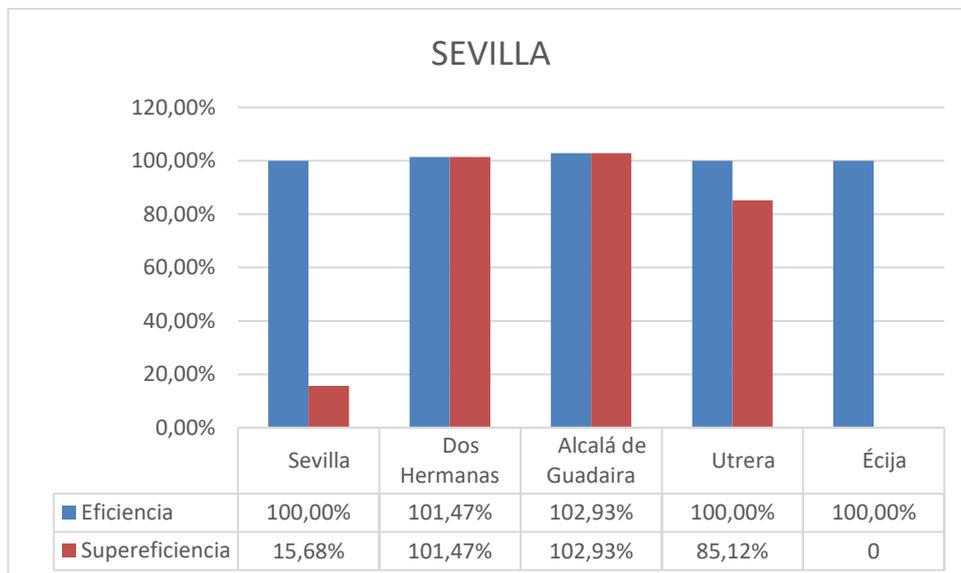
Tabla 41. La siguiente DMU, el municipio de Utrera también es considerado ineficiente con una puntuación de 102,93%. Al igual que la anterior DMU Dos Hermanas, tiene los mismos valores de los pesos tanto para las entradas como salidas virtuales. También ha tomado como referencia las dos mismas DMUs eficientes que la DMU Dos Hermanas, con valores de holguras de 0,059 para DMU Sevilla y 0,941 para DMU Écija. Las holguras del dual también se muestran en la Tabla 41. La DMU Utrera es eficiente, y por tanto posee una puntuación del 100%. Para las entradas virtuales, el peso de la variable de la longitud de la red de saneamiento es de la unidad y por consiguiente el peso de la variable de la EDAR he es nulo. En cuanto a las salidas virtuales, los pesos de las variables del caudal diario de agua tratada y de la población son de 1 y 0 respectivamente. Ninguna DMU ineficiente ha tomado dicha DMU como referencia. Los valores de las hoguras del dual son nulos como era de esperar. Por último, la DMU Écija es eficiente. Los pesos de las variables de las entradas virtuales son de la unidad para longitud de la red de saneamiento y nulo para la EDAR he. En las salidas virtuales ha tenido más peso la variable de población con valor de 0,91 que la variable del caudal diario de agua tratada con valor 0,09. Las dos DMUs ineficientes la han tomado como referencia como se ha comentado anteriormente. Al ser eficiente, se puede observar en la Tabla 41 que las holguras del dual son nulas.

Como aparecen tres DMUs eficientes, se ha obtenido la tabla generada por el software EMS con la casilla de Supereficiencia seleccionada (Tabla 42) para así poder clasificar las dos DMUs más eficientes de las tres obtenidas.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}\{V}	EDAR he {0}\{V}	m3 agua tratada/día {0}\{V}	Población {0}\{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {0}	{S} EDAR he {0}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Sevilla	15,68%	0,00	0,06	0,44	0,56		2			
2	Dos Hermanas	101,47%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,153) 5 (0,847)	0,000003	20597,087467	253,159667	0,001535
3	Alcalá de Guadaira	102,93%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,059) 5 (0,941)	0,000001	12283,736866	281,200674	0,000404
4	Utrera	85,12%	0,77	0,00	1,00	0,00		0			
5	Écija	big	27435700,68	0,02	0,09	0,91		2			

Tabla 42. Eficiencia saneamiento provincia de Sevilla (Supereficiencia).

El valor de la puntuación de la DMU Écija es *big* por lo que se ha descartado como una de las dos DMUs más eficientes de la provincia de Sevilla. Por ende, las dos DMUs seleccionadas como más eficientes son la DMU **Sevilla y Utrera** con valores de 15,68% y 85,12% respectivamente. Para ver lo comentado con más claridad se muestra la Gráfica 5 donde se observan los valores de eficiencia y Supereficiencia de los cinco municipios de la provincia de Sevilla.



Gráfica 5. Eficiencia saneamiento provincia de Sevilla.

5.2.6 Málaga

La siguiente tabla (Tabla 43) muestra la tabla generada por el software EMS donde muestra la puntuación de eficiencia de los cinco municipios de la provincia de Málaga.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {V}	EDAR he {V}	m3 agua tratada/día {V}	Población {V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {}	{S} EDAR he {}	{S} m3 agua tratada/día {}	{S} Población {}
1	Málaga	100,00%	0,58	0,42	1,00	0,00		1			
2	Marbella	128,25%	0,00	1,00	0,00	1,00	1 (0,216) 4 (0,784)	213,060981	0,003917	132,487160	0,004593
3	Mijas	100,00%	1,00	0,00	1,00	0,00		0			
4	Vélez-Málaga	100,00%	0,73	0,27	0,03	0,97		1			
5	Estepona	100,00%	0,00	1,00	1,00	0,00		0			

Tabla 43. Eficiencia saneamiento provincia de Málaga.

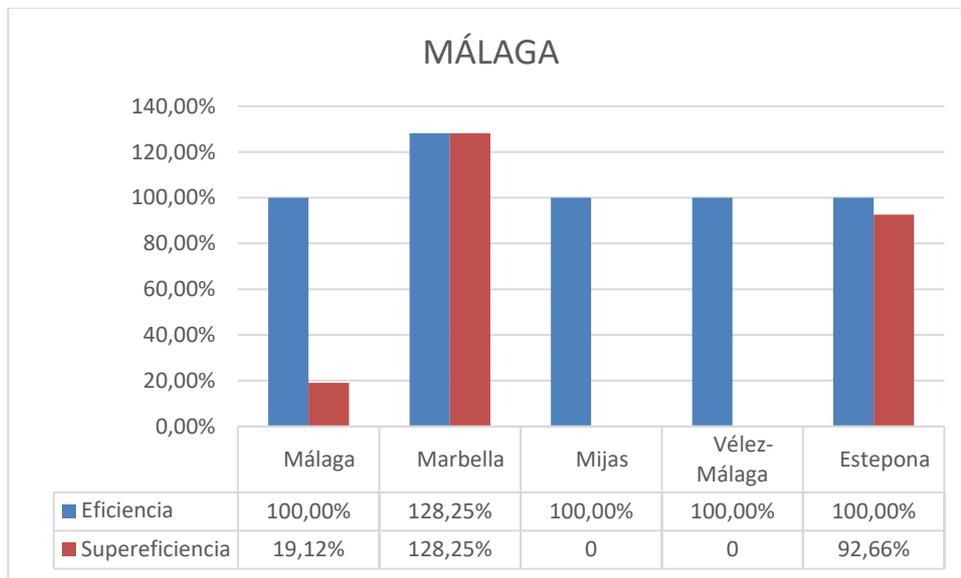
Como se puede observar de los cinco municipios seleccionados de la provincia, cuatro de ellos son eficientes. El municipio de Málaga es eficiente, por tanto con una puntuación del 100%. Los pesos de las variables de las entradas virtuales son parecidos, con valores de 0,58 para la longitud de la red de saneamiento y el resto de la unidad para la EDAR he. En cuanto a las variables de salida, el caudal diario de agua tratada tiene peso unidad y por ende la población tiene peso nulo. La única DMU ineficiente la ha tomado como referencia. Las holguras del dual son nulas al ser una DMU eficiente. La DMU de Marbella es la única DMU ineficiente de la provincia de Málaga con una puntuación de 128,25%. El peso de la EDAR he es de la unidad y por consiguiente el peso de la longitud de la red de saneamiento es nulo. Para las salidas virtuales, el peso del caudal diario de agua tratado es nulo y el de la población es de la unidad. Para llegar a ser eficiente se ha proyectado en las DMUs Málaga, como se comentó anteriormente, pero en menor medida (ya que su holgura es de 0,216); y en la DMU Vélez-Málaga con una holgura de 0,784. Las holguras del dual son las mostradas en la Tabla 43. El municipio de Mijas tiene puntuación del 100% siendo considerado eficiente. La longitud de la red de saneamiento tiene peso unidad y por ende la otra variable de entrada EDAR he tiene peso nulo. Para las salidas virtuales, el caudal diario de agua tratada tiene como peso la unidad, por tanto la variable de población tiene peso nulo. Ninguna DMU ineficiente se ha proyectado sobre esta DMU. Sus holguras del dual son nulas. La DMU Vélez-Málaga tiene una puntuación del 100% siendo por tanto eficiente. Los pesos de las entradas virtuales son de 0,73 y 0,27 para las variables de longitud de la red de saneamiento y EDAR he respectivamente. En cuanto a las salidas virtuales, el peso del caudal diario de agua tratada es casi nulo con valor de 0,03 y el peso de la población es de 0,97. Como se sabe la DMU ineficiente de Marbella se proyectó sobre la DMU Vélez-Málaga para llegar a ser eficiente, de ahí que aparezca el número 1 en la columna *Benchmarks*. Como se conoce los valores de las holguras del dual son nulos. Por último, la DMU Estepona es considerada eficiente. El peso de la EDAR he es de la unidad para las entradas virtuales. En cuanto a las salidas virtuales el peso de la población es nulo. Ninguna DMU ineficiente se ha proyectado sobre dicha DMU para llegar a ser eficiente. Los valores de las holguras del dual son nulos.

Para clasificar las DMUs eficientes de mayor a menor eficiencia, se ha obtenido la tabla con la casilla de Supereficiencia seleccionada que se muestra a continuación (Tabla 44):

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}\V	EDAR he {I}\V	m3 agua tratada/día {O}\V	Población {O}\V	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Málaga	19,12%	0,00	0,00	1,00	0,00		1			
2	Marbella	128,25%	0,00	1,11	0,00	1,00	1 (0,216) 4 (0,784)	213,060981	0,003917	132,487160	0,004593
3	Mijas	big	57785450,60	0,00	1,00	0,00		0			
4	Vélez-Málaga	big	599738,34	154,10	0,03	0,97		1			
5	Estepona	92,66%	0,00	1,94	1,00	0,00		0			

Tabla 44. Eficiencia saneamiento provincia de Málaga (Supereficiencia).

Los valores de la puntuación de las DMUs Mijas y Vélez-Málaga son *big* por lo que son descartados como los de mayor eficiencia. Por ende, los dos municipios con mayor eficiencia son **Málaga y Estepona** con valores de eficiencia de 19,12% y 92,66% respectivamente. Para ver de manera más clara la eficiencia y supereficiencia de cada uno de los cinco municipios seleccionados se muestra la siguiente gráfica (Gráfica 6):



Gráfica 6. Eficiencia saneamiento provincia de Málaga.

5.2.7 Granada

A continuación se muestra la tabla (Tabla 45) con los resultados de la eficiencia proporcionado por el programa de los cinco municipios estudiados de la provincia de Granada:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}\V	EDAR he {I}\V	m3 agua tratada/día {O}\V	Población {O}\V	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Granada	100,00%	0,49	0,51	0,00	1,00		2			
2	Motril	101,43%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,169) 4 (0,831)	0,000000	36936,202190	122,659185	0,000651
3	Almuñécar	130,36%	1,00	0,00	0,00	1,00	1 (0,045) 4 (0,955)	0,000000	36798,752921	4684,815870	0,000006
4	Ármylla	100,00%	0,85	0,15	1,00	0,00		2			
5	Las Gubias	100,00%	0,00	1,00	0,43	0,57		0			

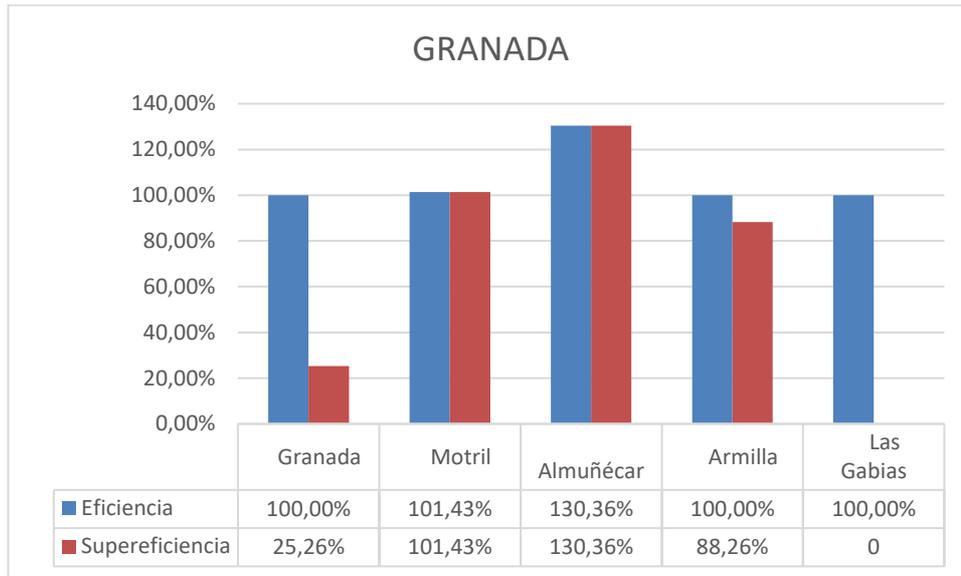
Tabla 45. Eficiencia saneamiento provincia de Granada.

Como se puede observar existen tres DMUs consideradas eficientes. La ciudad de Granada tiene una puntuación de 100%, por lo que es eficiente. Los pesos de las variables de entrada son parecidos con valores de 0,49 y 0,51 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. En cuanto a las salidas virtuales, tiene peso nulo la variable del caudal diario de agua tratada y por consiguiente el valor del peso de la población es la unidad. Las dos DMUs ineficientes tienen como referencia esta DMU como aparece en la columna *Benchmarks*. Las holguras del dual son nulas como era de esperar. La DMU Motril es ineficiente con una puntuación de 101,43%. Para las entradas virtuales, el peso de la longitud de la red de saneamiento es la unidad por lo que el peso de la EDAR he es nulo. En cuanto a las salidas virtuales, el peso del caudal diario de agua tratada es nulo y por ende el peso de la población es la unidad. Dicha DMU se ha proyectado sobre las DMU Granada y DMU Armilla. Se ha tomado como referencia en mayor medida la DMU Armilla debido a que su holgura es de 0,831. Por otro lado, en menor medida se encuentra la DMU de Granada con un valor de la holgura de 0,169. Los valores de las holguras del dual al igual que los de la DMU siguiente se muestran en la Tabla 45. La siguiente DMU es la de Almuñécar, también ineficiente cuya puntuación es de 130,36%. En lo referido a las entradas virtuales, el total del peso de las entradas es por parte de la longitud de la red de saneamiento siendo entonces el peso de la EDAR he nulo. En cuanto a las salidas virtuales, se tiene total peso de la variable de población siendo el peso del caudal diario de agua tratada nulo. Al igual que en la DMU anterior se ha proyectado en mayor medida en la DMU Armilla con un valor de 0,955 y en menor medida en la DMU Granada con una holgura de 0,045. El municipio de Armilla tiene una puntuación del 100%, considerado eficiente. En cuanto a las entradas virtuales, tiene más importancia la variable de la longitud de la red de saneamiento con un peso de 0,85 y por otro lado, la variable EDAR he con un peso de 0,15. En lo referido a las salidas virtuales, se encuentra el caudal diario de agua tratada con un peso igual a uno. Como se ha comentado anteriormente, las dos DMUs ineficientes se han proyectado sobre esta DMU para llegar a ser eficientes. Por último, se encuentra la DMU Las Gabias con una puntuación del 100%, siendo por ende eficiente. El valor del peso de la EDAR he es de la unidad, por tanto tiene el control total de las entradas virtuales. En cuanto a las salidas virtuales, los pesos se encuentran más proporcionados con valores de 0,43 y 0,57 para las variables del caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Dicha DMU no ha sido tomada como referencia para ninguna DMU ineficiente. Las holguras del dual son nulas al ser la DMU eficiente. Hay que obtener la tabla donde se muestra la Supereficiencia de las DMUs (Tabla 46) para así poder comparar la puntuación de Supereficiencia de las DMUs eficientes y poder clasificarlas.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}{V}	EDAR he {I}{V}	m3 agua tratada/día {O}{V}	Población {O}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Granada	25,26%	0,00	0,00	0,00	1,00		2			
2	Motril	101,43%	0,78	0,00	0,00	1,00	1 (0,169) 4 (0,831)	0,000000	36936,202190	122,659185	0,000651
3	Almuñécar	130,36%	0,78	0,00	0,00	1,00	1 (0,045) 4 (0,955)	0,000000	36798,752921	4684,815870	0,000006
4	Armilla	88,26%	0,19	0,03	1,00	0,00		2			
5	Las Gabias	big	0,39	842,21	0,43	0,57		0			

Tabla 46. Eficiencia saneamiento provincia de Granada (Supereficiencia).

Como se puede observar, la puntuación de la DMU Las Gabias tiene valor *big* por lo que queda descartada para la elección de las dos DMUs más eficientes de dicha provincia. Por consiguiente, las dos DMUs más eficientes de la provincia de la Granada son la DMU **Granada** y **Armilla** con puntuaciones de 25,26% y 88,26% respectivamente. Para ver gráficamente las puntuaciones de eficiencia de los municipios seleccionados se muestra la Gráfica 7:



Gráfica 7. Eficiencia saneamiento provincia de Granada.

5.2.8 Almería

En la siguiente tabla (Tabla 47) se muestran los resultados de la eficiencia del saneamiento de los cinco municipios pertenecientes a la provincia de Almería. A continuación, se va a proceder a comentar dichos resultados:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}\V	EDAR he {I}\V	m3 agua tratada/día {O}\V	Población {O}\V	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Almería	100,00%	1,00	0,00	0,00	1,00		0			
2	Roquetas de Mar	100,00%	0,00	1,00	1,00	0,00		1			
3	El Ejido	100,00%	0,00	1,00	0,00	1,00		1			
4	Níjar	113,59%	0,00	1,00	0,12	0,88	2 (0,075) 3 (0,053) 5 (0,872)	6,662987	0,000222	0,000092	0,000390
5	Vícar	100,00%	1,00	0,00	0,51	0,49		1			

Tabla 47. Eficiencia saneamiento provincia de Almería.

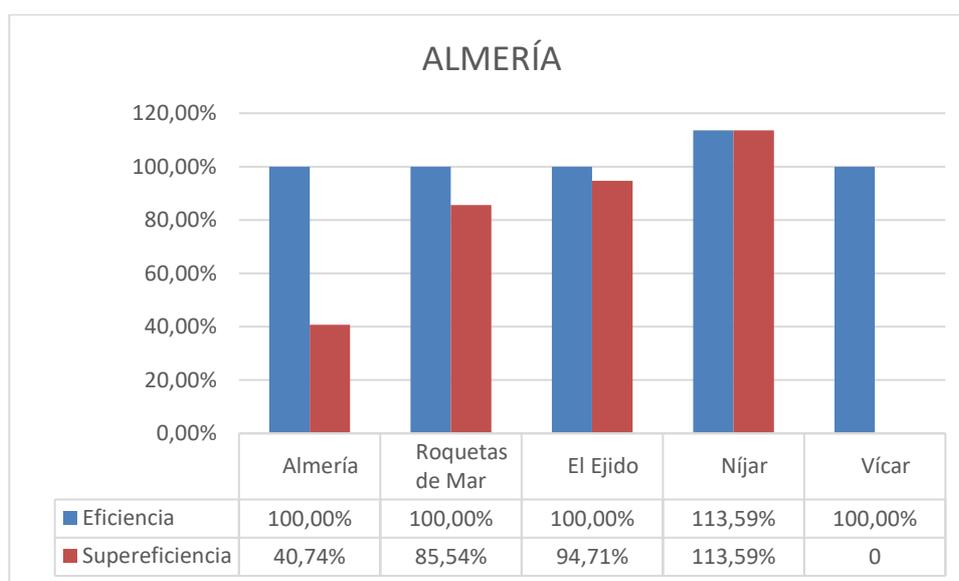
Como se puede observar en la tabla han resultado cuatro DMUs eficientes. La primera DMU, el municipio de Almería, tiene una puntuación de 100% al ser eficiente. En lo referido a las entradas virtuales, todo el peso recae sobre la variable de la longitud de la red de saneamiento, siendo el peso de la variable EDAR he nulo. En cuanto a las salidas virtuales, el total del peso es para la variable población, siendo el peso del caudal diario de agua tratada nulo. No hay ninguna DMU que se haya proyectado sobre dicha DMU para ser eficiente. Las holguras del dual son nulas, al ser dicha DMU eficiente. La siguiente DMU Roquetas de Mar también es eficiente. Al contrario que la DMU Almería el peso total de las entradas virtuales recae sobre la variable de la EDAR he, siendo el peso de la longitud de la red de saneamiento nulo. Lo mismo ocurre con las salidas virtuales, el peso total recae sobre la variable del caudal diario de agua tratada. Hay una DMU ineficiente que ha tomado la DMU Roquetas de Mar como referencia. La DMU El Ejido tiene una puntuación del 100%, y por tanto es eficiente. En cuanto a las entradas virtuales, no se ha tenido en cuenta la variable de longitud de la red de saneamiento, al ser su peso nulo. Lo mismo ocurre en las salidas virtuales con la variable caudal diario de agua tratada, cuyo peso es nulo. Una DMU ineficiente se ha proyectado sobre la DMU El Ejido. La DMU Níjar es la única DMU ineficiente de la provincia de Almería con una puntuación de 113,59%. En lo referido a las entradas virtuales,

sólo se ha tenido en cuenta la EDAR he, siendo el peso de la longitud de la red de saneamiento nulo. Para las salidas virtuales, se ha tenido en cuenta ambas variables, con un peso de 0,12 el caudal diario de agua tratada, y en mayor medida con un valor del peso de 0,88 la población. Dicha DMU se ha proyectado sobre tres DMUs de la provincia. Se ha proyectado en mayor medida sobre la DMU Vícar con una holgura de valor de 0,872. En menor medida se ha proyectado sobre las DMUs Roquetas de Mar y El Ejido con valor de las holguras de 0,075 y 0,053 respectivamente. Las holguras del dual se muestran en la Tabla 47. Por último, la DMU Vícar es considerada eficiente. Para las entradas virtuales, el total del peso corresponde a la variable longitud de la red de saneamiento, siendo el peso de la EDAR he nulo. En cuanto a las salidas virtuales, los pesos están repartidos de forma parecida con valores de 0,51 y 0,49 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Las holguras del dual son nulas al ser una DMU eficiente. Se ha obtenido la tabla de Supereficiencia (Tabla 48) al aparecer cuatro DMUs eficientes para así poder clasificarlas de mayor a menor eficiencia.

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}{V}	EDAR he {I}{V}	m3 agua tratada/día {O}{V}	Población {O}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Almería	40,74%	0,47	0,00	0,00	1,00		0			
2	Roquetas de Mar	85,54%	0,00	0,86	1,00	0,00		1			
3	El Ejido	94,71%	0,00	0,95	0,00	1,00		1			
4	Níjar	113,59%	0,00	1,16	0,12	0,88	2 (0,075) 3 (0,053) 5 (0,872)	6,662987	0,000222	0,000092	0,000390
5	Vícar	big	20214568,72	0,72	0,51	0,49		1			

Tabla 48. Eficiencia saneamiento provincia de Almería (Supereficiencia).

Como se puede observar, la DMU Vícar tiene una puntuación de Supereficiencia de valor *big*, por lo que queda descartada. La DMU más eficiente es la del municipio de Almería con una puntuación de 40,74%. En segundo lugar se encuentra la DMU Roquetas de Mar con una puntuación de 85,54%. La tercera DMU más eficiente es la de El Ejido con una puntuación de 94,71%. Por consiguiente, las dos DMUs seleccionadas con mayor eficiencia de la provincia de Almería son **Almería y Roquetas de Mar**. Para una mayor claridad y comprensión de las puntuaciones de eficiencia se muestra la Gráfica 8 donde se muestra las puntuaciones de eficiencia y Supereficiencia de los cinco municipios de la provincia de Almería.



Gráfica 8. Eficiencia saneamiento provincia de Almería.

5.3 Análisis DEA municipios más eficientes

Como se vio en el punto anterior, se seleccionó los dos municipios más eficientes por provincia. En este apartado se va a realizar el análisis de eficiencia de esos municipios más eficientes. Como conclusión del punto anterior según los resultados, se puede apreciar que en cada provincia una de los DMUs más eficientes es la propia capital de la provincia. A continuación se muestra la tabla generada por el software EMS (Tabla 49) con las puntuaciones de eficiencia de los municipios más eficientes:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {I}\V}	EDAR he {I}\V}	m3 agua tratada/día {O}\V}	Población {O}\V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {I}	{S} EDAR he {I}	{S} m3 agua tratada/día {O}	{S} Población {O}
1	Jerez de la Frontera	106,06%	1,00	0,00	1,00	0,00	5 (0,663) 8 (0,337)	0,000003	12239,631456	0,000136	6662,828358
2	Chiclana de la Frontera	100,00%	0,32	0,68	0,81	0,19		2			
3	Huelva	105,92%	0,88	0,12	0,58	0,42	5 (0,257) 8 (0,495) 14 (0,055) 15 (0,194)	0,000000	0,000178	0,000000	0,000002
4	Almonte	173,18%	1,00	0,00	0,66	0,34	5 (0,042) 14 (0,926) 15 (0,032)	0,000000	14119,960642	0,000042	0,000088
5	Córdoba	100,00%	0,91	0,09	0,68	0,32		3			
6	Lucena	100,00%	0,59	0,41	0,00	1,00		3			
7	Jaén	100,00%	0,00	1,00	1,00	0,00		1			
8	Linares	100,00%	0,70	0,30	1,00	0,00		3			
9	Sevilla	100,00%	0,00	1,00	0,00	1,00		4			
10	Utrera	137,23%	0,65	0,35	0,00	1,00	6 (0,903) 9 (0,025) 15 (0,072)	0,000000	0,000017	1303,957806	0,000003
11	Málaga	100,00%	0,99	0,01	1,00	0,00		1			
12	Estepona	216,95%	0,72	0,28	0,33	0,67	6 (0,662) 8 (0,145) 9 (0,167) 15 (0,026)	0,000000	0,000006	0,000001	0,000002
13	Granada	109,93%	0,27	0,73	0,88	0,12	2 (0,404) 7 (0,294) 9 (0,125) 11 (0,176)	0,000000	0,000039	0,000023	0,000176
14	Armilla	100,00%	1,00	0,00	1,00	0,00		3			
15	Almería	100,00%	0,98	0,02	0,00	1,00		4			
16	Poquetas de Mar	166,85%	0,19	0,81	0,32	0,68	2 (0,030) 6 (0,532) 9 (0,195) 14 (0,243)	0,000063	0,000493	0,000064	0,000171

Tabla 49. Eficiencia saneamiento de los dos municipios más eficientes por provincia.

Como se puede observar, de los dieciséis municipios estudiados se han obtenido nueve eficientes, se va a comentar uno por uno los resultados obtenidos. En primer lugar, la DMU Jerez de la Fra. ha resultado ineficiente con una puntuación de 106,06%. En cuanto a las entradas virtuales, el peso recae al completo sobre la variable longitud de la red de saneamiento, siendo el peso de la EDAR he nulo. Para las salidas virtuales, el peso total lo posee el caudal diario de agua tratada, por lo que la población no se ha tenido en cuenta para el análisis. Dicha DMU se ha proyectado sobre dos DMUs eficientes, en mayor medida sobre Córdoba con un valor de holgura de 0,663 y sobre Linares con un valor de 0,337. Los valores de las holguras del dual se muestran en la Tabla 49 al igual que de las demás DMUs ineficientes. La siguiente DMU Chiclana de la Fra. ha resultado ser eficiente. Para llegar a dicha eficiencia, han entrado en juego todas las variables, tanto de entrada como de salida. Para las entradas virtuales, el peso de las variables es de 0,32 y 0,68 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. En cuanto a las salidas virtuales, el peso de las variables es de 0,81 para el caudal diario de agua tratada y de 0,19 para la población. Existen dos DMUs ineficientes que han tomado dicha DMU como referencia. Las holguras del dual son nulas como era de esperar al ser dicha DMU eficiente. Los dos municipios de Huelva son considerados ineficientes con una puntuación de 105,92% para Huelva y 173,18% para Almonte.

En cuanto a la DMU Huelva, todas las variables intervienen en el análisis de eficiencia. Los valores de los pesos son de 0,88 y 0,12 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente y de 0,58 y 0,42 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Se ha proyectado sobre las siguientes

DMUs: Córdoba con un valor de 0,257, Linares con holgura de 0,495, Armilla con valor de 0,055 y Almería con holgura de 0,194. En lo referido a Almonte, para las entradas virtuales sólo se tiene en cuenta la longitud de la red de saneamiento y para las salidas virtuales el peso se reparte entre las dos variables con valor de 0,66 y 0,34 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Se ha proyectado sobre la DMU Armilla con valor de 0,926 y en menor medida sobre las DMUs Córdoba y Almería con valores de 0,042 y 0,032 respectivamente.

Las dos DMUs de la provincia de Córdoba son consideradas eficientes. El municipio de Córdoba en lo referido a las entradas virtuales tiene más peso la longitud de la red de saneamiento con un valor de 0,91 y en menor medida la EDAR he con un valor de 0,09. En cuanto a las salidas virtuales, el caudal diario de agua tratada tiene un peso de 0,68 y la población un valor de 0,32. Dicha DMU ha sido tomado como referencia para tres DMUs ineficientes. Para el municipio de Lucena, el peso de las entradas virtuales se encuentra repartido de forma parecida con valores de 0,59 y 0,41 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. No obstante, para las salidas virtuales solo se ha tenido en cuenta la población. Al igual que el municipio de Córdoba, tres DMUs se han proyectado sobre dicha DMU para llegar a ser eficientes.

Las dos DMUs de la provincia de Jaén también han resultado eficientes. El municipio de Jaén sólo tiene en cuenta la EDAR he en lo referido a las entradas virtuales y el caudal diario de agua tratada para las salidas virtuales. Existe una DMU que se ha proyectado sobre el municipio de Jaén para ser eficiente. En cuanto al municipio de Linares, se han considerado las dos variables de entrada con valores de 0,70 y 0,30 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. Para las salidas virtuales sólo se ha considerado el caudal diario de agua tratada, siendo por ende el peso de la población nulo.

En la provincia de Sevilla una DMU ha resultado eficiente y la otra ineficiente. El municipio de Sevilla tiene una puntuación del 100% siendo por tanto eficiente. Para llegar a esa eficiencia sólo se ha tenido en cuenta la EDAR he para las entradas virtuales y la población en lo referido a las salidas virtuales. Dicha DMU ha servido como referencia a cuatro DMUs ineficientes. Por otro lado, el municipio de Utrera ha resultado ineficiente con una puntuación de 137,23%. En cuanto a las entradas virtuales se han tomado las dos variables con un peso de 0,65 para la longitud de la red de saneamiento y el restante 0,35 para la EDAR he. Para las salidas virtuales sólo se ha usado la población. Se ha proyectado casi al completo con un valor de 0,903 en la DMU Lucena y en menor medida en las DMUs Sevilla y Almería con valores de 0,025 y 0,072 respectivamente.

En la provincia de Málaga se ha obtenido una DMU eficiente y otra ineficiente al igual que en la provincia de Sevilla. El municipio de Málaga ha resultado eficiente. Se ha tenido en cuenta casi al completo la longitud de la red de saneamiento con un peso de 0,99 y por ende la EDAR he con un valor de 0,01. Para las salidas virtuales sólo se ha tomado el caudal diario de agua tratada. La DMU Málaga ha servido como referencia para una DMU ineficiente. El municipio de Estepona ha resultado ineficiente con una puntuación de 216,95%, siendo la peor DMU de todas las estudiadas en este caso. Para las entradas virtuales los pesos son de 0,72 para la longitud de la red de saneamiento y de 0,28 para la EDAR he. Los pesos de las salidas virtuales también se encuentran repartidos de forma parecida con valores de 0,33 y 0,67 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Se ha proyectado en mayor medida sobre la DMU Lucena con un valor de 0,662 y en menor medida en las DMUs Linares, Sevilla y Almería con valores de las holguras de 0,145, 0,167 y 0,026 respectivamente.

La DMU Granada tiene una puntuación de 109,93% siendo por tanto una unidad ineficiente. Los pesos de las variables de entrada son de 0,27 y 0,73 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. En cuanto a las salidas virtuales cobra más importancia el caudal diario de agua tratada con un peso de 0,88 que la población con un valor de 0,12. Se ha proyectado sobre las DMUs Chiclana de la Fra., Jaén, Sevilla y Málaga con valores de 0,404, 0,294, 0,125 y 0,176 respectivamente. La otra DMU de la provincia de Granada, la DMU Armilla, ha resultado ser eficiente. Para las entradas virtuales sólo se ha tenido en cuenta el caudal diario de agua tratada y para las salidas virtuales el caudal diario de agua tratada. Ha sido tomado como referencia para tres DMUs ineficientes.

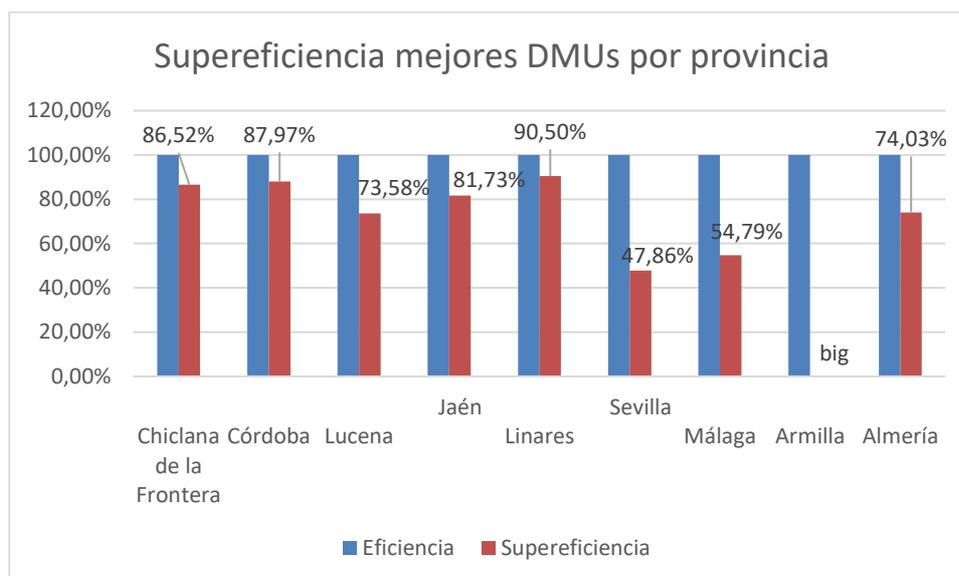
El municipio de Almería tiene una puntuación de 100% siendo por ende eficiente. Los valores de los pesos de las entradas son de 0,98 para la longitud de la red de saneamiento, siendo prácticamente el total del peso de las entradas, y de 0,02 para la EDAR he. En cuanto a las salidas virtuales sólo se ha tomado la variable de población. Existen cuatros DMUs ineficientes que han tomado como referencia la DMU Almería. Por último, la DMU Roquetas de Mar es ineficiente con una puntuación de 166,85%. Los pesos de las entradas son de 0,19 para la longitud de la red de saneamiento y de 0,81 para la EDAR he. Para las salidas virtuales, se han obtenido unos pesos de 0,32 y 0,68 referidos al caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Se ha proyectado

en mayor medida sobre la DMU Lucena con una holgura de 0,532 y en menor medida sobre las DMUs Chiclana de la Fra., Sevilla y Armilla con valores de 0,030, 0,195 y 0,243 respectivamente. Para comparar las DMUs eficientes y poder clasificarlas en mayor o menor eficiente se ha calculado la tabla de Superficiencia () que se muestra a continuación:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {0}{V}	EDAR he {0}{V}	m3 agua tratada/día {0}{V}	Población {0}{V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {0}	{S} EDAR he {0}	{S} m3 agua tratada/día {0}	{S} Población {0}
1	Jerez de la Frontera	106,06%	0,93	0,00	1,00	0,00	5 (0,663) 8 (0,337)	0,000003	12239,631456	0,000136	6662,828358
2	Chiclana de la Frontera	86,52%	0,22	0,46	0,81	0,19		2			
3	Huelva	105,92%	0,81	0,11	0,58	0,42	5 (0,257) 8 (0,495) 14 (0,055) 15 (0,194)	0,000000	0,000178	0,000000	0,000002
4	Almonte	173,18%	1,15	0,00	0,66	0,34	5 (0,042) 14 (0,926) 15 (0,032)	0,000000	14119,960642	0,000042	0,000088
5	Córdoba	87,97%	0,71	0,07	0,68	0,32		3			
6	Lucena	73,58%	0,45	0,32	0,00	1,00		3			
7	Jaén	81,73%	0,00	0,44	1,00	0,00		1			
8	Linares	90,50%	0,39	0,17	1,00	0,00		3			
9	Sevilla	47,86%	0,00	0,37	0,00	1,00		4			
10	Utrera	137,23%	0,75	0,41	0,00	1,00	6 (0,903) 9 (0,025) 15 (0,072)	0,000000	0,000017	1303,957806	0,000003
11	Málaga	54,79%	0,00	0,00	1,00	0,00		1			
12	Estepona	216,95%	1,37	0,54	0,33	0,67	6 (0,662) 8 (0,145) 9 (0,167) 15 (0,026)	0,000000	0,000006	0,000001	0,000002
13	Granada	109,93%	0,24	0,65	0,88	0,12	2 (0,404) 7 (0,294) 9 (0,125) 11 (0,176)	0,000000	0,000039	0,000023	0,000176
14	Armilla	big	02499359,95	0,07	1,00	0,00		3			
15	Almería	74,03%	0,64	0,02	0,00	1,00		4			
16	Roquetas de Mar	166,85%	0,31	1,32	0,32	0,68	2 (0,030) 6 (0,532) 9 (0,195) 14 (0,243)	0,000063	0,000493	0,000064	0,000171

Tabla 50. Eficiencia saneamiento de los dos municipios más eficientes por provincia (Superficiencia).

Como se puede observar la Superficiencia del municipio de Armilla tiene valor *big* por lo que se ha descartado de la clasificación. La menor puntuación de Superficiencia corresponde a la DMU Sevilla con un valor de 47,86% seguida del municipio de Málaga con un valor de 54,79%. En tercer lugar se encuentra el municipio de Lucena con una puntuación de 73,58 seguida de la DMU Almería con un valor de 74,03. Le sigue la DMU Jaén con una puntuación de 81,73% y a continuación el municipio de Chiclana de la Fra. con un valor de 86,52%. En las dos últimas posiciones se encuentran las DMUs de Córdoba y Linares con puntuaciones de 87,97% y 90,50% respectivamente. Para ver de forma más clara lo comentado se muestra la Gráfica 9 donde se encuentran las nueve DMUs eficientes con los valores de Superficiencia:



Gráfica 9. Eficiencia saneamiento dos mejores DMUs por provincia.

5.4 Análisis DEA municipios seleccionados

Anteriormente se ha realizado el análisis de eficiencia del saneamiento por provincias. De dicho análisis se han seleccionado los dos municipios más eficientes por provincia y se ha realizado de nuevo el análisis de eficiencia de los dieciséis municipios más eficientes de la comunidad autónoma de Andalucía. En este apartado se va a realizar el análisis de eficiencia del saneamiento de todos los municipios seleccionados de Andalucía, es decir, de los 38 municipios comentados. En la Tabla 51 se muestra la puntuación de eficiencia y el resto de los resultados referidos al saneamiento de los 38 municipios comentados:

	DMU	Score	Km red de saneamiento (I)(V)	EDAR he (I)(V)	m3 agua tratada/día (O)(V)	Población (O)(V)	Benchmarks	(S) Km red de saneamiento (I)	(S) EDAR he (I)	(S) m3 agua tratada/día (O)	(S) Población (O)
1	Jerez de la Frontera	135,59%	1,00	0,00	0,00	1,00	3 (0,834) 19 (0,166)	0,000000	51253,826387	2920,104841	0,000006
2	Algeciras	141,40%	0,20	0,80	0,54	0,46	3 (0,336) 5 (0,066) 18 (0,472) 19 (0,126)	0,000000	0,000006	0,000001	0,000001
3	Cádiz y San Fernando	100,00%	1,00	0,00	1,00	0,00	17				
4	El Puerto de Santa María	147,92%	0,22	0,78	0,60	0,40	3 (0,302) 5 (0,594) 18 (0,082) 19 (0,022)	0,000000	0,000008	0,000002	0,000061
5	Chiclana de la Frontera	100,00%	0,16	0,84	0,72	0,28	4				
6	Huelva	139,19%	0,54	0,46	0,03	0,97	3 (0,417) 10 (0,128) 19 (0,028) 34 (0,427)	0,000000	0,000103	0,000131	0,000006
7	Lepe	230,34%	1,00	0,00	0,00	1,00	3 (0,134) 10 (0,866)	0,000000	43192,408278	5111,714888	0,000002
8	Almonte	217,70%	1,00	0,00	0,23	0,77	3 (0,131) 10 (0,359) 33 (0,510)	0,000000	10554,513004	0,000004	0,000000
9	Córdoba	108,25%	1,00	0,00	0,32	0,68	3 (0,686) 19 (0,217) 24 (0,096)	0,000000	34030,107255	0,000559	0,000628
10	Lucena	100,00%	0,59	0,41	0,00	1,00	17				
11	Puente Genil	159,93%	0,02	0,98	0,00	1,00	10 (0,852) 18 (0,136) 19 (0,012)	0,000000	0,000000	559,778012	0,000000
12	Montilla	148,89%	0,03	0,97	0,00	1,00	10 (0,373) 18 (0,623) 19 (0,004)	0,000013	0,000001	3845,842377	0,000001
13	Priego de Córdoba	113,85%	0,28	0,72	0,00	1,00	10 (0,088) 18 (0,755) 33 (0,157)	0,000000	0,000003	6039,005090	0,000001
14	Jaén	100,00%	0,00	1,00	1,00	0,00	2				
15	Linares	114,08%	0,19	0,81	0,62	0,38	3 (0,189) 18 (0,798) 19 (0,008) 32 (0,005)	0,000000	0,000060	0,000015	0,000262
16	Andújar	117,29%	0,28	0,72	0,60	0,40	3 (0,022) 5 (0,020) 18 (0,938) 19 (0,020)	0,000002	0,000085	0,000023	0,000133
17	Úbeda	158,11%	0,21	0,79	0,51	0,49	3 (0,095) 10 (0,401) 19 (0,007) 32 (0,498)	0,000000	0,000004	0,000001	0,000005
18	Álcala la Real	100,00%	0,00	1,00	0,99	0,01	12				
19	Sevilla	100,00%	0,00	1,00	0,00	1,00	24				
20	Dos Hermanas	157,32%	1,00	0,00	0,00	1,00	3 (0,991) 19 (0,009)	0,000000	73575,398901	51215,918922	0,000025
21	Alcalá de Guadaíra	126,61%	0,68	0,32	0,00	1,00	10 (0,851) 19 (0,061) 34 (0,089)	0,000000	0,000003	3298,511647	0,000006
22	Utrera	137,23%	0,65	0,35	0,00	1,00	10 (0,903) 19 (0,025) 34 (0,072)	0,000000	0,000042	1303,961028	0,000011
23	Écija	138,44%	0,65	0,35	0,00	1,00	10 (0,961) 19 (0,013) 34 (0,027)	0,000000	0,000353	3029,171857	0,000097
24	Málaga	100,00%	1,00	0,00	1,00	0,00	1				
25	Marbella	212,81%	0,06	0,94	0,66	0,34	3 (0,295) 5 (0,362) 14 (0,023) 19 (0,321)	0,000004	0,000001	0,000000	0,000002
26	Mijas	181,75%	0,59	0,41	0,02	0,98	3 (0,120) 10 (0,447) 19 (0,054) 34 (0,379)	0,000001	0,001061	0,016325	0,000345
27	Vélez-Málaga	160,00%	0,03	0,97	0,00	1,00	10 (0,839) 18 (0,020) 19 (0,141)	0,000001	0,000009	9261,145434	0,000008
28	Estepona	221,83%	0,73	0,27	0,02	0,98	3 (0,033) 10 (0,789) 19 (0,172) 34 (0,006)	0,000000	0,000186	0,000410	0,000057
29	Granada	124,59%	0,00	1,00	0,77	0,23	3 (0,421) 14 (0,343) 19 (0,237)	99,828801	0,000001	0,000001	0,000006
30	Motril	183,73%	0,22	0,78	0,51	0,49	3 (0,279) 10 (0,112) 19 (0,044) 32 (0,564)	0,000000	0,000001	0,000001	0,000003
31	Almuñécar	223,61%	1,00	0,00	0,00	1,00	3 (0,091) 10 (0,909)	0,000000	44419,187966	973,210137	0,000027
32	Armilla	100,00%	0,19	0,81	1,00	0,00	4				
33	Las Gabias	100,00%	0,26	0,74	0,04	0,96	2				
34	Almería	100,00%	0,56	0,44	0,00	1,00	6				
35	Roquetas de Mar	167,08%	0,32	0,68	0,32	0,68	10 (0,457) 18 (0,064) 19 (0,200) 32 (0,279)	0,000001	0,000023	0,000013	0,000045
36	El Ejido	159,62%	0,04	0,96	0,00	1,00	10 (0,191) 18 (0,648) 19 (0,161)	0,000007	0,000033	8920,836563	0,000042
37	Níjar	174,69%	0,00	1,00	0,00	1,00	18 (0,954) 19 (0,046)	16,075804	0,000061	6375,474116	0,000044
38	Vícar	147,34%	0,00	1,00	0,00	1,00	18 (0,976) 19 (0,024)	16,662309	0,000001	6613,491026	0,000000

Tabla 51. Eficiencia saneamiento Andalucía.

Como se puede observar, se obtienen diez municipios eficientes del total seleccionado de Andalucía. Dichos

municipios son: Cádiz-San Fernando, Chiclana de la Fra., Lucena, Jaén, Alcalá la Real, Sevilla, Málaga, Armilla, Las Gabias y Almería. Se ha obtenido al menos un municipio eficiente por provincia, excepto para la provincia de Huelva, que de los tres municipios seleccionados ninguno ha resultado ser eficiente. En el caso de las provincias de Cádiz, Jaén y Granada se han obtenido dos municipios eficientes. Se va a comentar el peso que se ha tenido en cuenta para las entradas y salidas virtuales para cada uno de los municipios estudiados.

Para Jerez de la Fra. sólo se ha tenido en cuenta la longitud de la red de saneamiento y la población. En el caso de la localidad de Algeciras se ha repartido para la entrada con valores del 20% para la longitud de la red de saneamiento y 80% para la EDAR he, y la salida se ha repartido de forma parecida con 54% para el caudal diario de agua tratada y 46% para la población. Para Cádiz-San Fernando se ha calculado la eficiencia en función de la longitud de la red de saneamiento y el caudal diario de agua tratada. Para el Puerto de Santa María los pesos de la entrada son de 0,22 y 0,78 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. Para la salida se ha repartido con un 60% para el caudal diario de agua tratada y el restante 40% para la población. En el caso de Chiclana de la Fra. ha tenido más peso la EDAR he que la longitud de la red de saneamiento al igual que el caudal diario de agua tratada que la población.

Para la DMU Huelva los pesos de las entradas se han repartido de forma equitativa. En cuanto a la salida, la población tiene el peso casi al completo. Para el municipio de Lepe sólo se ha tenido en cuenta la longitud de la red de saneamiento y la población. En el caso de Almonte, el peso completo de las entradas recae sobre la longitud de la red de saneamiento y para las salidas unos pesos de 0,23 y 0,77 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente.

Para la DMU Córdoba el peso de las entradas recae también sobre la longitud de la red de saneamiento y las salidas tienen pesos de 0,32 y 0,68 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. En el caso de Lucena, se ha repartido el peso de las entradas, pero para la salida sólo se ha tenido en cuenta la población. Para Puente Genil y Montilla el peso recae sobre la EDAR he casi al completo y sobre la población. En cuanto al municipio de Priego de Córdoba el peso de las entradas se reparte con valores del 28% y 72% para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente, sin embargo el peso total de las salidas recae sobre la población.

Para la DMU Jaén, sólo se ha tenido en cuenta las variables EDAR he y caudal diario de agua tratada. En el caso de Linares, los pesos de las entradas son de 0,19 para la longitud de la red de saneamiento y de 0,8 para la EDAR he. Para las salidas se ha repartido con valores de 0,62 y 0,38 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. En el municipio de Andújar, la mayor parte del peso de la entrada recae sobre la EDAR he al igual que la DMU Úbeda. Para las salidas se reparte de forma parecida pero teniendo algo más de importancia el caudal diario de agua tratada para ambos municipios. En el caso de Alcalá la Real sólo se ha considerado la EDAR he y el caudal diario de agua tratada casi al completo.

Para la DMU Sevilla sólo se ha tenido en cuenta la EDAR he y la población. Para el municipio de Dos Hermanas también se ha tenido en cuenta sólo la población para las salidas virtuales, pero a diferencia de Sevilla el peso total de las entradas recae sobre la longitud de la red de saneamiento. Para la DMU Alcalá de Guadaíra también se ha tenido en cuenta la población en cuanto a las salidas. Para las entradas virtuales el peso de las variables se ha repartido con valores de 0,68 para la longitud de la red de saneamiento y 0,32 para la EDAR he. Para los municipios de Utrera y Écija sólo se ha tenido en cuenta la población para las salidas. Se ha obtenido el mismo peso para ambas en las variables de entrada con valores de 0,65 y 0,35 para la longitud de la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente.

En cuanto a la DMU Málaga el peso total recae sobre la longitud de la red de saneamiento y el caudal diario de agua tratada. Para Marbella el peso de las entradas recae casi al completo para la EDAR he, y en cuanto a las salidas se ha repartido con valores de 0,66 y 0,34 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. En cuanto a Mijas, el peso de las variables de entrada se ha repartido para la longitud de red de saneamiento y la EDAR he con valores de 0,59 y 0,41 respectivamente. El peso de las salidas casi al completo se ha obtenido para la población. Para el municipio de Vélez-Málaga el peso total se ha obtenido casi al completo para la EDAR he en cuanto a las entradas y al completo para la población. En cuanto a la localidad de Estepona, la mayor parte del peso se ha referido para la longitud de la red de saneamiento con un valor de 0,73 y el resto de 0,27 para la EDAR he. En cuanto a las salidas, se ha tenido en cuenta casi al completo la variable de población con un valor de 0,98.

Para la localidad de Granada, el total del peso de las entradas corresponde a la EDAR he, y para las salidas se han utilizado unos pesos de 0,77 y 0,23 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente.

Para Motril se ha repartido los pesos de las entradas con unos valores de 0,22 para la longitud de la red de saneamiento y el restante 0,78 para la EDAR he. En cuanto a las salidas, se ha repartido de forma equitativa con valores de 0,51 y 0,49 para el caudal diario de agua tratada y la población respectivamente. Para el municipio de Almuñécar se ha utilizado únicamente la longitud de la red de saneamiento en cuanto a las entradas, y para la salidas la población. Para la DMU Armilla se ha repartido los pesos con un 19% para la longitud de la red de saneamiento y un 81% para la EDAR he. Para las salidas sólo se ha tenido en cuenta el cuadal diairo de agua tratada. En cuanto al municipio de Las Gabias, se han utilizado unos pesos de 0,26 y 0,74 para la red de saneamiento y la EDAR he respectivamente. Para las salidas, se ha utilizado la variable de población casi al completo con un valor de 0,96.

Para la localidad de Almería, los pesos de las entradas se han repartido con valores de 0,56 para la longitud de la red de saneamiento y 0,44 para la EDAR he. En cuanto a las salidas sólo se ha utilizado la población. Para la DMU Roquetas de Mar, se ha utilizado en mayor parte la variable EDAR he con un valor de 0,68 y el restante 0,32 para la longitud de la red de saneamiento. En cuanto a las salidas, el cuadal diario tiene el mismo peso que la longitud de la red de saneamiento y la población por ende el mismo valor del peso de la EDAR he. Para la localidad de El Ejido, en cuanto a las entradas se ha utilizado casi al completo la EDAR he, y para las salidas la población. Por último, para los municipios de Níjar y Vícar el total del peso de las entradas recae sobre la EDAR he y para las salidas sobre la variable de población. En cuanto a las DMUs eficientes, según la columna *Benchmarks*, el número de DMUs ineficientes que se han proyectado sobre las DMUs de Cádiz-San Fernando, Chiclana de la Fra., Lucena, Jaén, Alcalá la Real, Sevilla, Málaga, Armilla, Las Gabias y Almería son 17, 4, 17, 2, 12, 24, 1, 4, 2 y 6 respectivamente.

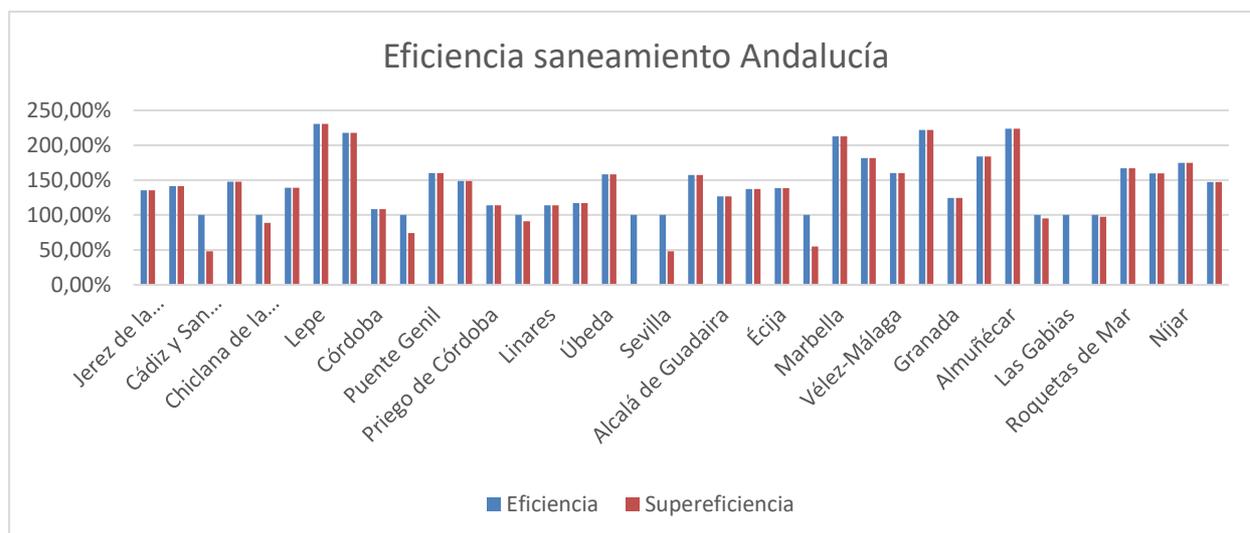
Para poder clasificar las DMUs eficientes se ha obtenido el análisis de eficiencia con la casilla de *Superefficiency* seleccionada como muestra la Tabla 52:

	DMU	Score	Km red de saneamiento {V}	EDAR he {V}	m3 agua tratada/día {V}	Población {V}	Benchmarks	{S} Km red de saneamiento {}	{S} EDAR he {}	{S} m3 agua tratada/día {}	{S} Población {}
1	Jerez de la Frontera	135,59%	0,90	0,00	0,00	1,00	3 (0,834) 19 (0,166)	0,000000	51253,826387	2920,104841	0,000006
2	Algeciras	141,40%	0,27	1,06	0,54	0,46	3 (0,336) 5 (0,066) 18 (0,472) 19 (0,126)	0,000000	0,000006	0,000001	0,000001
3	Cádiz y San Fernando	48,17%	0,39	0,00	1,00	0,00	17				
4	El Puerto de Santa María	147,92%	0,30	1,08	0,60	0,40	3 (0,302) 5 (0,594) 18 (0,082) 19 (0,022)	0,000000	0,000008	0,000002	0,000061
5	Chiclana de la Frontera	88,63%	0,12	0,61	0,72	0,28	4				
6	Huelva	139,19%	0,70	0,61	0,03	0,97	3 (0,417) 10 (0,128) 19 (0,028) 34 (0,427)	0,000000	0,000103	0,000131	0,000006
7	Lepe	230,34%	2,27	0,00	0,00	1,00	3 (0,134) 10 (0,866)	0,000000	43192,408278	5111,714888	0,000002
8	Almonte	217,70%	2,38	0,00	0,23	0,77	3 (0,131) 10 (0,359) 33 (0,510)	0,000000	10554,513004	0,000004	0,000000
9	Córdoba	108,25%	0,56	0,00	0,32	0,68	3 (0,686) 19 (0,217) 24 (0,096)	0,000000	34030,107255	0,000559	0,000628
10	Lucena	74,15%	0,45	0,32	0,00	1,00	17				
11	Puente Genil	159,93%	0,05	1,86	0,00	1,00	10 (0,852) 18 (0,136) 19 (0,012)	0,000000	0,000000	559,778012	0,000000
12	Montilla	148,89%	0,06	1,83	0,00	1,00	10 (0,373) 18 (0,623) 19 (0,004)	0,000013	0,000001	3845,842377	0,000001
13	Priego de Córdoba	113,85%	0,74	1,89	0,00	1,00	10 (0,088) 18 (0,755) 33 (0,157)	0,000000	0,000003	6039,005090	0,000001
14	Jaén	91,07%	0,00	0,67	1,00	0,00	2				
15	Linares	114,08%	0,19	0,82	0,62	0,38	3 (0,189) 18 (0,798) 19 (0,008) 32 (0,005)	0,000000	0,000060	0,000015	0,000262
16	Andújar	117,29%	0,26	0,67	0,60	0,40	3 (0,022) 5 (0,020) 18 (0,938) 19 (0,020)	0,000002	0,000085	0,000023	0,000133
17	Úbeda	158,11%	0,29	1,08	0,51	0,49	3 (0,095) 10 (0,401) 19 (0,007) 32 (0,498)	0,000000	0,000004	0,000001	0,000005
18	Alcalá la Real	big	0,06	320,78	0,99	0,01	12				
19	Sevilla	47,86%	0,00	0,37	0,00	1,00	24				

20	Dos Hermanas	157,32%	0,86	0,00	0,00	1,00	3 (0,991) 19 (0,009)	0,000000	73575,398901	51215,918922	0,000025
21	Alcalá de Guadaíra	126,61%	0,76	0,36	0,00	1,00	10 (0,851) 19 (0,061) 34 (0,089)	0,000000	0,000003	3298,511647	0,000006
22	Utrera	137,23%	0,75	0,41	0,00	1,00	10 (0,903) 19 (0,025) 34 (0,072)	0,000000	0,000042	1303,961028	0,000011
23	Écija	138,44%	0,72	0,39	0,00	1,00	10 (0,961) 19 (0,013) 34 (0,027)	0,000000	0,000353	3029,171857	0,000097
24	Málaga	54,79%	0,00	0,00	1,00	0,00					
25	Marbella	212,81%	0,12	1,72	0,66	0,34	3 (0,295) 5 (0,362) 14 (0,023) 19 (0,321)	0,000004	0,000001	0,000000	0,000002
26	Mijas	181,75%	1,00	0,69	0,02	0,98	3 (0,120) 10 (0,447) 19 (0,054) 34 (0,379)	0,000001	0,001061	0,016325	0,000345
27	Vélez-Málaga	160,00%	0,06	1,65	0,00	1,00	10 (0,839) 18 (0,020) 19 (0,141)	0,000001	0,000009	9261,145434	0,000008
28	Estepona	221,83%	1,51	0,55	0,02	0,98	3 (0,033) 10 (0,789) 19 (0,172) 34 (0,006)	0,000000	0,000186	0,000410	0,000057
29	Granada	124,59%	0,00	0,97	0,77	0,23	3 (0,421) 14 (0,343) 19 (0,237)	99,828801	0,000001	0,000001	0,000006
30	Motril	183,73%	0,38	1,34	0,51	0,49	3 (0,279) 10 (0,112) 19 (0,044) 32 (0,564)	0,000000	0,000001	0,000001	0,000003
31	Almuñécar	223,61%	2,20	0,00	0,00	1,00	3 (0,091) 10 (0,909)	0,000000	44419,187966	973,210137	0,000027
32	Armillá	95,32%	0,13	0,56	1,00	0,00					
33	Las Gábias	big	41306,45	358,05	0,04	0,96					
34	Almería	97,48%	0,52	0,40	0,00	1,00					
35	Roquetas de Mar	167,08%	0,51	1,08	0,32	0,68	10 (0,457) 18 (0,064) 19 (0,200) 32 (0,279)	0,000001	0,000023	0,000013	0,000045
36	El Ejido	159,62%	0,07	1,64	0,00	1,00	10 (0,191) 18 (0,648) 19 (0,161)	0,000007	0,000033	8920,836563	0,000042
37	Níjar	174,69%	0,00	2,03	0,00	1,00	18 (0,954) 19 (0,046)	16,075804	0,000061	6375,474116	0,000044
38	Vícar	147,34%	0,00	1,80	0,00	1,00	18 (0,976) 19 (0,024)	16,662309	0,000001	6613,491026	0,000000

Tabla 52. Eficiencia saneamiento Andalucía (Supereficiencia).

Para más claridad y una mejor visualización se muestra la Gráfica 10 donde se encuentran las puntuaciones de eficiencia y Supereficiencia de todos los municipios seleccionados para el caso de estudio.



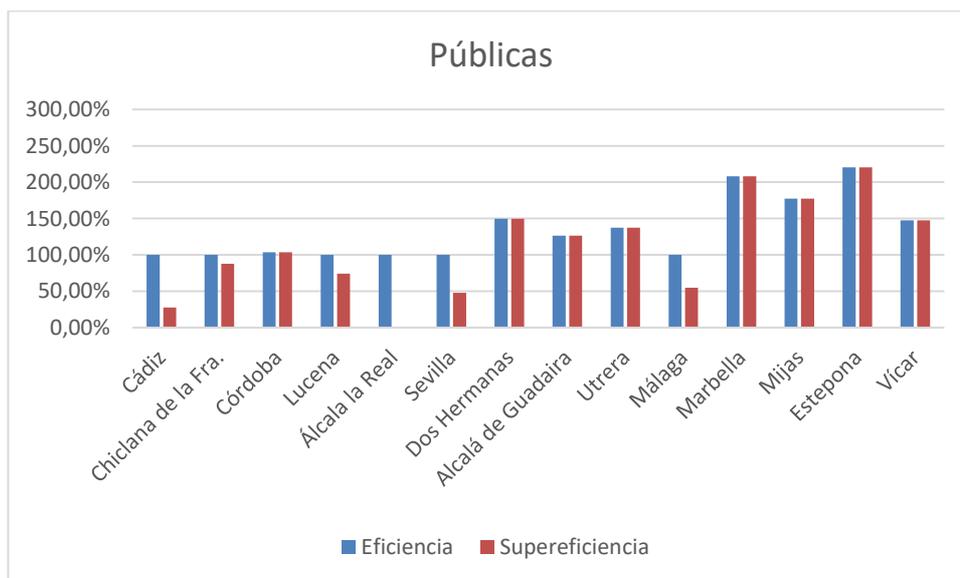
Gráfica 10. Eficiencia saneamiento Andalucía.

A la vista de los resultados obtenidos por la Tabla 52 se puede decir que la DMU más eficiente es la de Sevilla con una puntuación de 47,86%. Le siguen los municipios de Cádiz-San Fernando y Málaga con puntuaciones de 48,17% y 54,79% respectivamente. A continuación se encuentran las DMUs Lucena, Chiclana de la Fra. y Jaén con unas puntuaciones de Supereficiencia de 74,15%, 88,63% y 91,07% respectivamente. En último lugar se encuentran los municipios de Armilla y Almería con unas puntuaciones de 95,32% y 97,48% respectivamente. Las DMUs de Alcalá la Real y Las Gábias se han descartado hay que se ha obtenido como

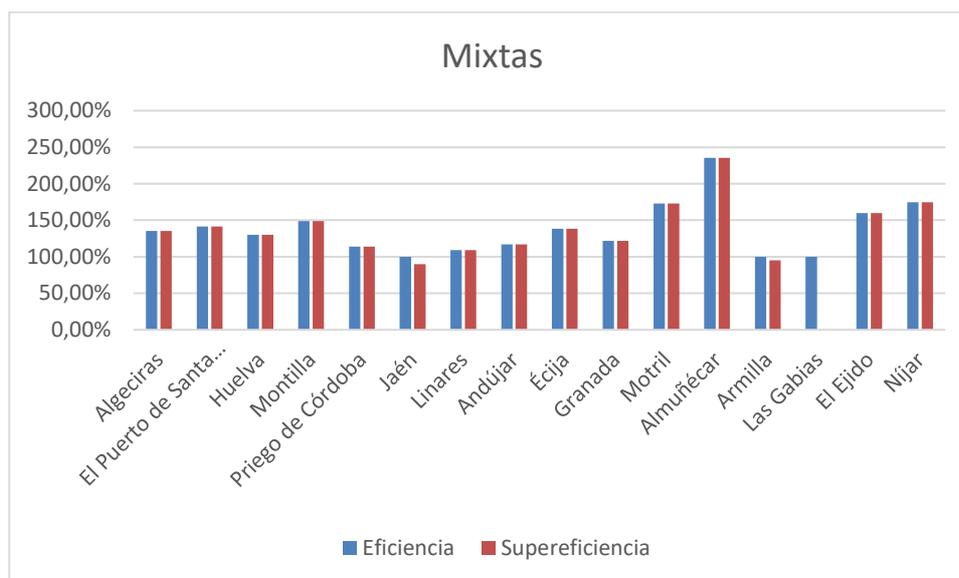
puntuación de Supereficiencia el valor *big*.

5.5 Análisis de eficiencia según el tipo de empresa

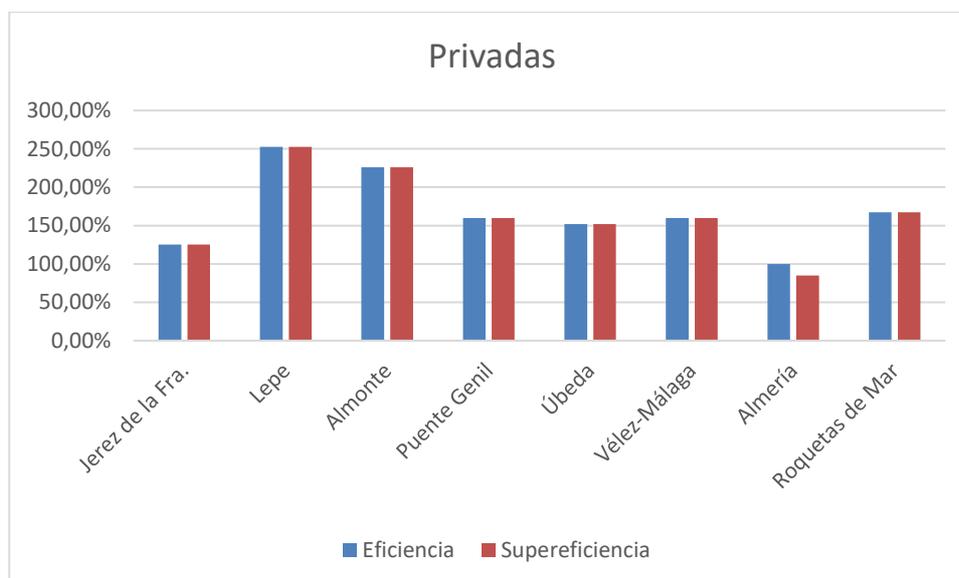
Al comentar brevemente las empresas seleccionados se mencionó el tipo de capital de la empresa, que como se vio puede ser pública, mixta o privada. El objeto de este apartado es ver si existe relación alguna entre la eficiencia de una empresa y el tipo de capital. De las 38 empresas seleccionadas para el estudio 14 son públicas, 16 son mixtas y las restantes 8 son privadas. En primer lugar se va a calcular el coeficiente de correlación, que en estadística se define como la dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, de la puntuación de eficiencia y el tipo de empresa. Se ha calculado con la herramienta de *Análisis de Datos* de Excel, donde se ha obtenido un valor del coeficiente de correlación de valor 0,276. Este valor indica que existe una pequeña dependencia lineal positiva entre las dos variables de puntuación de eficiencia y tipo de capital de la empresa. No es lo suficientemente próxima a la unidad, por lo tanto la relación entre ambas variables es muy pequeña. Con esto se quiere decir que el tipo de capital de la empresa no determina la eficiencia de esta. A continuación se muestra las gráficas de las empresas públicas, mixtas y privadas (Gráfica 11, Gráfica 12 y Gráfica 13 respectivamente), donde se puede observar lo anteriormente mencionado de que el tipo de empresa no justifica su puntuación de eficiencia.



Gráfica 11. Eficiencia saneamiento empresas públicas.



Gráfica 12. Eficiencia saneamiento empresas mixtas.



Gráfica 13. Eficiencia saneamiento empresas privadas.

Cabe destacar que de las 14 empresas públicas han resultado ser eficientes 6, de las 16 empresas mixtas se han obtenido 3 eficientes y de las 8 empresas privadas sólo una es eficiente. En conclusión, no se dispone de los suficientes datos como para ver realmente la dependencia existente entre la puntuación de eficiencia de una empresa y su tipo de capital.

6 CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo como se comentó en la introducción es analizar y caracterizar las empresas encargadas del saneamiento en las ocho capitales de las provincias de Andalucía y de los cuatro municipios más importantes de cada provincia. Para ello, en primer lugar se ha realizado una extensa búsqueda de los datos necesarios para poder llevar a cabo el estudio del análisis comentado. Un gran problema que se ha tenido en cuanto a la búsqueda de datos es que muchas empresas de la gestión del ciclo integral del agua no prestan la totalidad de sus datos, por ende algunos datos han tenido que calcularse de forma aproximada o en el peor de los casos se ha eliminado el municipio del análisis. Las aproximaciones pueden influir en el análisis ya que son datos estimados, pero considero que las aproximaciones calculadas son coherentes y no se distan mucho de los valores reales.

Una vez que se han recopilado todos los datos necesarios, ya sean reales o estimados, se ha seleccionado el modelo de la metodología DEA. Existen muchas empresas con variables que difieren mucho entre ellas, como por ejemplo, el caso de la población donde existen algunos municipios con más de 600.000 habitantes y otros con algo más de 20.000 habitantes. Por consiguiente, se ha considerado oportuno seleccionar un modelo de escala variable debido a la gran diversidad de las empresas analizadas, ya sea en cuanto a tamaño como recursos. Se ha considerado tomar el modelo con orientación de salida ya que las variables de salida (caudal diario de agua tratada y población) son las que se buscan optimizar. Las variables de entrada se han considerado constantes debido a que son variables que para poder optimizarse es necesario decisiones políticas y además son variables que para variar se necesita largos períodos de tiempo. La población es una variable que no se puede controlar ya que no se puede reducir o aumentar población a una necesidad dada, pero con este estudio lo que se busca es poder abastecer a una mayor población que la actual existente. Las variables de entrada: longitud de la red de saneamiento y la capacidad de la EDAR son variables que también se pueden optimizar para así mejorar la eficiencia de una empresa, pero no se ha tenido en cuenta debido a que son variables difíciles de optimizar y dependen de otros factores ajenos como se ha comentado.

Por ende, se ha realizado el análisis de eficiencia de las empresas, primero por provincia para así poder ver la eficiencia comparando las empresas dentro de la propia provincia y elegir los dos municipios más eficientes para posteriormente realizar un análisis de los municipios resultantes. El hecho de realizar el análisis de los cinco municipios dentro de cada una de las provincias ha resultado interesante al mostrar la situación de las empresas dentro y fuera de cada provincia, y así poder ver si hay algunas provincias que gestionan de mejor o peor forma el ciclo integral del agua. En el caso del análisis DEA de la provincia de Málaga resultó que cuatro de los cinco municipios eran eficientes, sin embargo, en el análisis DEA de los 38 municipios finales sólo se obtuvo la eficiencia en el municipio de Málaga siendo la puntuación de los restantes cuatro municipios poco eficiente. A la vista de resultados como estos se puede observar como municipios que parecían eficientes al compararse dentro de su propia provincia después no lo son comparados con el resto de municipios de todas las provincias de Andalucía. Lo mismo ocurre en otras provincias como Jaén y Almería. En el caso de provincias como Cádiz y Granada han resultado eficientes un municipio menos del total analizado en cada una de las dos provincias. Para el caso de la provincia de Cádiz, la puntuación de eficiencia de los municipios que no resultaron eficientes no se aleja mucho de la puntuación de eficiencia obtenida en el análisis completo de todas las provincias. Sin embargo, en la provincia de Granada la puntuación de eficiencia obtenida de las DMUs ineficientes han empeorado bastante en comparación con las obtenidas en el análisis completo de todas las provincias. En el caso de la provincia de Huelva no ha resultado ninguna DMU eficiente en el análisis completo y las puntuaciones de eficiencia han empeorado mucho en comparación con las obtenidas en el análisis de la provincia, donde además se obtuvo el municipio de Málaga como eficiente. En el análisis de la provincia de Sevilla se obtuvo la eficiencia en tres de los cinco municipios, y una puntuación de eficiencia cercana a la unidad por parte de las dos DMUs restantes ineficientes. No obstante, en el análisis completo de todas las provincias sólo ha resultado ser eficiente una de las cinco DMUs, y las cuatro restantes han empeorado bastante sus puntuaciones de eficiencia. En la provincia de Córdoba al igual que en la de Sevilla resultaron tres municipios de los cinco de la provincia ser eficientes y en el análisis completo sólo uno de ellos obtuvo la eficiencia. A diferencia de la provincia de Sevilla, la puntuación de eficiencia en el análisis completo no ha diferido mucho con la resultante en el análisis de la provincia. Cabe destacar que los municipios que han resultado eficientes en el análisis DEA de todos los municipios han sido eficientes también en el análisis DEA por provincias. La explicación que se puede dar de

por qué puede variar tanto sendos análisis es debido a la situación en la que se encuentra cada provincia, ya sea por actividades que se realizan en la misma, como en el caso de Huelva existen muchas actividades de regadío por lo que se obtiene un caudal mayor de agua tratada, como por otros motivos como puede ser la extensión de los municipios de algunas provincias, por lo que necesitan una red de saneamiento mayor que una población que se encuentre más concentrada. Como se comentó el software EMS escoge la combinación de los pesos de las entradas y salidas de las DMUs creando la frontera eficiente, por eso se obtienen diferentes valores de los pesos y por consiguiente diferente puntuación de eficiencia en el análisis de los municipios por provincia que en el análisis completo. En definitiva, bajo mi punto de vista resulta más interesante y objetivo analizar la eficiencia de todas las empresas seleccionadas que por provincias, ya que como se ha podido ver los resultados varían mucho entre ambos análisis.

Tal y como se ha podido comprobar, el tipo de empresa (pública, privada o mixta) no está muy relacionado con la eficiencia de ésta. Es cierto que el número de empresas que han resultado ser más eficientes son las públicas, seguida de las mixtas y en último lugar las empresas privadas. Cabe destacar que se disponía de un menor número de empresas privadas, por lo que hubiera resultado interesante analizar un mayor número de empresas privadas para comprobar si existe mayor relación entre la eficiencia y el tipo de capital de la empresa. No obstante, se disponía de un mayor número de empresas mixtas que de empresas públicas, y aún así se ha obtenido un mayor número de empresas eficientes en las empresas públicas que en las mixtas. A la vista de estos resultados, se puede interpretar que la poca relación existente entre ambas variables tiende a ser más eficiente cuando se trata de una empresa pública que una empresa mixta o privada.

Para finalizar, en cuanto a las variables que se pueden modificar para obtener una mayor eficiencia, como se ha visto sólo cabe la opción de cambiar las variables de entrada ya que las variables de salida no pueden ser controladas. Los resultados que muestran las tablas, ya sea por provincias como la totalidad de los municipios de todas las provincias, pueden servir como apoyo u objeto de mejora para las empresas involucradas con el fin de optimizar la eficiencia del saneamiento de éstas. Como próxima investigación podría resultar interesante, a partir de los resultados mostrados, modificar los datos de las variables de entrada de las empresas que han resultado ser menos eficientes para así ver si resulta interesante realizar inversiones de mejora o por el contrario no hay mucho margen de mejora por parte de éstas. Además podría ser interesante también incluir valores monetarios para ver si las modificaciones en las variables de entrada no fueran muy rentables.

7 REFERENCIAS

- [1] “Aguas negras, el rastro de nuestra historia | We Are Water.” https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141 (accessed Apr. 22, 2022).
- [2] “Asamblea General de las Naciones Unidas 64/292.”
- [3] “Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua.”
- [4] “BOE Real Decreto 7 de febrero 140/2003.” <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/02/07/140/con> (accessed Apr. 22, 2022).
- [5] M. de la Presidencia and R. E. Con Las Cortes Igualdad, “Real Decreto 20 de julio 902/2018,” 2018, Accessed: Apr. 22, 2022. [Online]. Available: <http://www.boe.es>
- [6] “¿Qué es una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)?” <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/que-es-estacion-depuradora-agua-residuales-edar/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [7] “BOE Real Decreto 7 de diciembre 1620/2007.” <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-21092> (accessed Apr. 22, 2022).
- [8] “Aquajerez - Jerez de la Frontera.” <https://www.aquajerez.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [9] “Servicio Municipal de Agua de Algeciras - Emalgesa.” <https://www.emalgesa.com/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [10] “Aguas de Cádiz – Aguas de Cádiz.” <https://www.aguasdecadiz.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [11] “Aguas del Puerto Empresa Municipal - apemsa.es.” <https://www.apemsa.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [12] “Empresa Municipal Agua Chiclana de la Fra.” <https://chiclananatural.com/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [13] “Aguas de Huelva.” <https://www.aguashuelva.com/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [14] “Tu compañía del agua - Aqualia - Aqualia.” <https://www.aqualia.com/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [15] “GIAHSA.” Accessed: Jul. 08, 2022. [Online]. Available: <https://www.giahsa.com/wps/portal>
- [16] “EMACSA | Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A.” <https://www.emacsa.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [17] “Aguas de Lucena - Tu servicio.” <http://www.aguasdelucena.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [18] “Inicio - Aguas de Montilla.” <https://www.aguasdemontilla.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [19] “Aguas de Priego.” <http://aguasdepriego.com/Default.aspx> (accessed Apr. 22, 2022).
- [20] “SOMAJASA - Sociedad Mixta del Agua Jaén, S.A.” <https://www.somajasa.es/index.php> (accessed Apr. 22, 2022).
- [21] “Linaqua - Linaqua.” <https://www.linaqua.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [22] “Tratamiento y Gestión del Agua | ACCIONA | Business as unusual.” <https://www.acciona.com/es/soluciones/agua/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [23] “Adalsa - Aguas de Alcalá la Real.” <http://www.adalsa.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [24] “Emasesa – Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A.” <https://www.emasesa.com/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [25] “Ayuntamiento.” <http://www.aguasdelhuesna.com/es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [26] “Aqua Campiña - Aqua Campiña.” <https://www.xn--aquacampia-19a.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [27] “Emasa – Empresa Municipal Aguas de Málaga.” <https://www.emasa.es/> (accessed Apr. 22, 2022).

- [28] “Acosol, empresa pública de aguas de la Mancomunidad de Municipios de las Costa del Sol Occidental | Acosol.” <https://www.acosol.es/index.php/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [29] “Inicio - Emasagra.” <https://www.emasagra.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [30] “Aguas y Servicios Costa Tropical: Gestión del Ciclo Integral del Agua.” <https://www.aguasyservicios.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [31] “Servicio - aqualia Almería.” <https://www.aqualia.com/web/aqualia-almeria/conocenos/servicio> (accessed Apr. 22, 2022).
- [32] “Inicio - Hidralia.” <https://www.hidralia-sa.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [33] “Bienvenido a Aguas de El Ejido.” <https://www.aguasdeejido.es/> (accessed Apr. 22, 2022).
- [34] “Ayuntamiento de Vicar.” <https://www.vicar.es/Servicios/cmsdipro/index.nsf/index.xsp?p=Vicar> (accessed Apr. 23, 2022).
- [35] *The governance of water services in Europe 2020 edition.*
- [36] F. S. Pinto, P. Simões, and R. C. Marques, “Raising the bar: The role of governance in performance assessments,” *Utilities Policy*, vol. 49, pp. 38–47, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.JUP.2017.09.001.
- [37] S. Mugisha, *Utility Benchmarking and Regulation in Developing Countries: Practical Application of Performance Monitoring and Incentives*, vol. 10, 2011.
- [38] D. K. Gidion, J. Hong, M. Z. A. Adams, and M. Khoveyni, “Network DEA models for assessing urban water utility efficiency,” *Utilities Policy*, vol. 57, pp. 48–58, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.JUP.2019.02.001.
- [39] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision making units,” *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429–444, Nov. 1978, doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.
- [40] M. J. Farrell, “‘The measurement of productive efficiency’, *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 120,” 1957.
- [41] G. Villa Caro, “Análisis por Envoltura de Datos (DEA) nuevos modelos y aplicaciones,” Universidad de Sevilla, Sevilla, 2003.
- [42] A. C. W. W. C. R. D. Banker, *Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*, vol. 30. 1984.
- [43] D. S. P. R. and G. E. B. T. Coelli, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 1998.
- [44] Agha Iqbal Ali & Lawrence M. Seiford, *Computational Accuracy and Infinitesimals In Data Envelopment Analysis*. 1993.
- [45] H. Scheel, “EMS: Efficiency Measurement System User’s Manual.” [Online]. Available: <http://www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems/>

