

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización
Industrial

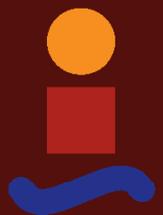
Análisis de eficiencia de grandes empresas
de gestión del ciclo integral del agua

Autor: Jaime Toribio Corchero

Tutor: María Rodríguez Palero

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

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Organización
Industrial

Análisis de eficiencia de grandes empresas de gestión del ciclo integral del agua

Autor:

Jaime Toribio Corchero

Tutor:

María Rodríguez Palero

Profesor
Ayudante
Doctor

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

Sevilla, 2024

Trabajo de Fin de Grado: Formato de Publicación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Autor: Jaime Toribio Corchero
Tutor: María Rodríguez Palero

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

A mis padres, por darme todas las oportunidades de mi vida a través de su esfuerzo y por permitirme salir de mi zona de confort aun cuando no estaban de acuerdo con mis decisiones. A mi abuelo Carlos, por enseñarme que con trabajo duro es posible todo lo que me proponga, y a mi abuela Carmen, por enseñarme a exprimir cada segundo junto a los míos. A Antonio, Perico y Diego, por acompañarme durante tantos años y demostrarme una y otra vez que nunca caminaré solo.

Resumen

Este trabajo se enfoca en analizar los procedimientos necesarios para calcular la eficiencia mediante el estudio de las DMU's, o Decision Marking Units. Para llevar a cabo una demostración práctica y efectiva, se han seleccionado las ocho mayores empresas del sector del agua a nivel mundial. Estas compañías serán exhaustivamente analizadas para extraer sus datos más relevantes y significativos.

El objetivo de esta comparación es identificar cuáles de estas empresas resultan más eficientes para la sociedad en general. En una primera fase, se utilizarán criterios comparativos generales que permitirán una evaluación inicial de la eficiencia de cada empresa. Estos criterios incluirán factores como el costo de operación, la capacidad de suministro, la calidad del agua, y el impacto ambiental de las operaciones.

A continuación, se utilizará el software EMS para realizar un análisis más detallado y específico. Este software permitirá obtener el valor de la eficiencia de cada empresa en diferentes escenarios, proporcionando una serie de puntuaciones muy útiles para la toma de decisiones. Las puntuaciones obtenidas ayudarán a determinar cuáles empresas están mejor posicionadas para enfrentar los desafíos del futuro y cuáles podrían beneficiarse de mejoras en sus procesos.

Finalmente, los resultados de este análisis se utilizarán para hacer recomendaciones sobre las mejores prácticas en el sector del agua. Estas recomendaciones estarán orientadas a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones de abastecimiento y depuración de agua, contribuyendo así a un mejor servicio a la sociedad y a una menor huella ambiental.

Abstract

This study focuses on analyzing the procedures necessary to calculate efficiency through the study of DMUs, or Decision Making Units. To carry out a practical and effective demonstration, the eight largest companies in the water sector worldwide have been selected. These companies will be exhaustively analyzed to extract their most relevant and significant data.

The aim of this comparison is to identify which of these companies are more efficient for society. In an initial phase, general comparative criteria will be used to provide an initial assessment of each company's efficiency. These criteria will include factors such as operational costs, supply capacity, water quality, and the environmental impact of operations.

Then, EMS software will be used to perform a more detailed and specific analysis. This software will allow for the calculation of each company's efficiency value in different scenarios, providing a series of scores that are highly useful for decision-making. The scores obtained will help determine which companies are best positioned to face future challenges and which could benefit from improvements in their processes.

Finally, the results of this analysis will be used to make recommendations on best practices in the water sector. These recommendations will be aimed at improving the efficiency and sustainability of water supply and purification operations, thus contributing to better service to society and a reduced environmental footprint.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de Usuarios	48
Tabla 2: Volumen de Agua Abastecida	49
Tabla 3: Volumen de Agua Depurada	49
Tabla 4: Km Red Abastecimiento	50
Tabla 5: Km Red Depuración	51
Tabla 6: Número de Empleados	52
Tabla 7: Ingresos	52
Tabla 8: EBITDA	53
Tabla 9: Gastos.....	54
Tabla 10: Datos de la empresas.....	55
Tabla 11. Ratio de eficiencia operativa (Usuarios/Trabajadores)	56
Tabla 12. Ratio Normalizado Usuarios/Trabajadores	57
Tabla 13. Ratio de eficiencia operativa (Km de red/Trabajadores)	57
Tabla 14. Ratio normalizado Km de red/Trabajadores	58
Tabla 15. Ratio de volumen de agua	58
Tabla 16. Ratio normalizado (Volumen de agua/Trabajadores)	58
Tabla 17. Ratio de volumen de agua abastecida/Km red de abastecimiento	59
Tabla 18. Ratio normalizado de agua abastecida/Km red de abastecimiento	59
Tabla 19. Ratio de volumen de agua depurada/Km red de depuración	60
Tabla 20. Ratio normalizado de agua depurada/Km red de depuración	60
Tabla 21. Ratio de EBITDA/Ingresos	60
Tabla 22. Ratio normalizado de EBITDA/Ingresos	61
Tabla 23. Ratio de gastos/ingresos	61
Tabla 24. Ratio normalizado de gastos/Ingresos	62
Tabla 25. Ratio de gastos/N° de usuarios.....	62
Tabla 26. Ratio normalizado de gastos/N° de usuarios.....	62
Tabla 27. Ratio de ingresos/N° de usuarios	63
Tabla 28. Ratio normalizado de ingresos/N° de usuarios	63
Tabla 29. Orden por ratio. Ranking Global	64
Tabla 30. Problema modelo ambiental social. CRS_RAD_OUT	66
Tabla 31. Problema modelo ambiental social. CRS_RAD_IN	67
Tabla 32. Problema modelo ambiental social. CRS_ADD_NON.....	67
Tabla 33. Problema modelo económico. CRS_RAD_OUT.....	69
Tabla 34. Problema modelo económico. CRS_RAD_IN	69
Tabla 35. Problema modelo económico. CRS_ADD_NON.....	69
Tabla 36. Problema modelo mixto. CRS_RAD_OUT	71
Tabla 37. Problema modelo mixto. CRS_RAD_IN	71
Tabla 38. Problema modelo mixto. CRS_ADD_NON.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo DEA	21
Ilustración 2. Modelo DEA	23
Ilustración 3. Modelo CRS.	25
Ilustración 4. Modelo CRS. Proyecciones	25
Ilustración 5. Modelo VRS.	26
Ilustración 6. Modelo VRS. Proyecciones	26
Ilustración 7. Relación CRS/VRS	27
Ilustración 8. Modelo NIRS	28
Ilustración 9. Modelo NDRS	28
Ilustración 10. Modelo FDH	29
Ilustración 11. Centro de Almacenamiento de Agua	38
Ilustración 12. Centro de Distribución de Agua	39
Ilustración 13. Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales	41
Ilustración 14. Número de usuarios	48
Ilustración 15. Volumen de Agua Abastecida	49
Ilustración 16. Volumen de Agua Depurada	50
Ilustración 17. Km Red Abastecimiento	50
Ilustración 18. Km Red de Distribución	51
Ilustración 19. Número de empleados	52
Ilustración 20. Ingresos	53
Ilustración 21. EBITDA	53
Ilustración 22. Gastos	54
Ilustración 23. Orden por ratio. Ranking Global	64
Ilustración 24. Software EMS. Modelos	65

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	7
Resumen	9
Abstract.....	11
ÍNDICE DE TABLAS	13
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	14
OBJETO DEL TRABAJO.....	17
1. Introducción y motivaciones.....	18
1.1. Estructura del documento	19
2.Herramientas	20
2.1. MÉTODO DE ANÁLISIS POR ENVOLTURA DE DATOS (DEA)	21
2.1.1. DMU'S.....	21
2.1.2. TECNOLOGÍAS.....	23
2.1.3. Orientación del modelo.....	29
2.1.3.1. Modelo con orientación de entrada (Input orientation)	29
2.1.3.2. Modelo con orientación de salida (Output orientation)	29
2.1.3.3. Modelo no orientado (Non-oriented).....	29
2.1.4. Modelos DEA	30
2.1.4.1. Modelos con retornos de escala constante (CRS ó CCR)	30
2.1.4.2. Modelo con retornos de escala variables (VRS)	33
2.1.4.3. Modelos no orientados	36
3. Procesos y empresas a analizar	37
3.1. Procedimiento general de abastecimiento de agua.....	37
3.2. Procedimiento general de recogida y tratamiento de aguas residuales.....	39
3.3. Empresas a analizar	41
3.4. Datos de las empresas	47
4. Análisis de empresas.....	56
4.1. Ratios	56
4.2. Software EMS.....	64
4.3. Problema modelo ambiental/social	66
4.3.1. Análisis de resultados modelo ambiental/social	67
4.4. Modelo económico.....	68
4.4.1. Análisis de resultados modelo económico	70
4.5. Problema mixto: Económico-ambiental	70
4.5.1. Análisis de resultados del modelo mixto	71
5. Conclusiones	73
6. Bibliografía.....	75

OBJETO DEL TRABAJO

El propósito de llevar a cabo este trabajo es comprender, estudiar y cuantificar la inversión y la gestión de recursos de las empresas del sector del agua a nivel global, con el objetivo de analizar posteriormente el rendimiento que obtienen de esos recursos. La gestión de recursos es una práctica esencial que proporciona información valiosa, permitiendo a las empresas evaluar si su forma de trabajo actual es adecuada en relación con los objetivos que desean alcanzar en sus negocios. Por este motivo, es crucial tener control sobre los datos que manejan, analizar parcial o totalmente la gestión de sus recursos y saber cuantificar la rentabilidad que produce cada una de sus unidades de producción. Esto es fundamental para el correcto desarrollo de la actividad, ya sea en el sector del agua o en cualquier otra línea de negocio.

En el caso específico del sector del agua, no solo es importante que los recursos generen rentabilidad a nivel económico. Dado que el agua es un recurso natural, fundamental y cada vez más escaso en los últimos años, las empresas de este sector han adquirido un compromiso social significativo no solo con sus clientes, sino también con todos los habitantes del planeta. Este compromiso social implica que la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos no solo busca beneficios económicos, sino también contribuir al bienestar general y a la preservación de un recurso vital para la vida y el desarrollo de las comunidades a nivel global.

Por lo tanto, el análisis exhaustivo de la gestión de recursos en las empresas del sector del agua incluye evaluar cómo se invierten y gestionan estos recursos, cómo se maximiza su rendimiento y cómo se alinean estas prácticas con los objetivos tanto económicos como sociales de la empresa. Esto abarca desde el uso eficiente del agua, la implementación de tecnologías innovadoras para su tratamiento y distribución, hasta la responsabilidad social corporativa en la conservación y protección del medio ambiente. Solo a través de un enfoque integral que considere todos estos aspectos, las empresas podrán asegurar una gestión sostenible y responsable de los recursos hídricos, beneficiando no solo a sus operaciones y rentabilidad, sino también al entorno y la sociedad en su conjunto.

1 Introducción y motivaciones

Se podría afirmar que la época actual es extraordinariamente compleja y desafiante. Por un lado, la generación contemporánea es la más educada y mejor preparada de la historia, con la capacidad de viajar a cualquier rincón del mundo, comunicarse instantáneamente con cualquier persona sin importar la distancia, y acceder a una amplia gama de productos y soluciones para prácticamente cualquier problema que enfrenten en su vida diaria. Estos avances tecnológicos y sociales se han logrado a través de la explotación intensiva de recursos naturales, especialmente los combustibles fósiles. A lo largo de la historia de la humanidad, pero especialmente en los últimos cien años, estos recursos han sido tratados como si fueran inagotables, impulsando un progreso desenfrenado sin considerar adecuadamente el impacto ambiental y las consecuencias a largo plazo que esto podría tener en las generaciones futuras.

El desarrollo industrial y tecnológico, aunque ha traído innumerables beneficios y mejoras en la calidad de vida, también ha generado una serie de problemas medioambientales críticos. La dependencia de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural, ha llevado a niveles alarmantes de contaminación del aire y del agua, contribuyendo significativamente al calentamiento global y al cambio climático. Este fenómeno, provocado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, ha resultado en una serie de catástrofes naturales que están afectando a diversas regiones del planeta, incluyendo inundaciones devastadoras, tormentas intensas y prolongadas sequías.

Afortunadamente, en las últimas décadas, la conciencia sobre la necesidad de un desarrollo más sostenible ha crecido, y se han realizado esfuerzos significativos para buscar y desarrollar soluciones alternativas que puedan mitigar, al menos en parte, el impacto negativo de años de explotación excesiva de recursos no renovables. Entre estas soluciones se encuentran la implementación de tecnologías más limpias y eficientes, como los coches eléctricos, que reducen la dependencia de combustibles fósiles, y las placas solares, que aprovechan la energía del sol para generar electricidad de manera más sostenible. Estas iniciativas representan pasos importantes hacia la reducción de la huella de carbono y la protección del medio ambiente.

Sin embargo, los efectos acumulados de décadas de acciones insostenibles han dejado una huella imborrable en nuestro planeta. El cambio climático ya está causando estragos significativos, y sus consecuencias se hacen cada vez más evidentes. Las catástrofes naturales, como las mencionadas inundaciones, tormentas y sequías, están ocurriendo con mayor frecuencia e intensidad, afectando tanto a países en vías de desarrollo como a naciones consideradas líderes mundiales en términos políticos y económicos. Esta realidad ha llevado a que en muchas regiones del mundo surjan problemas de abastecimiento de recursos que anteriormente se consideraban prácticamente inagotables, como es el caso del agua.

Hoy en día, no solo enfrentamos el problema de que muchos países en desarrollo tienen dificultades para acceder a una red adecuada de abastecimiento y saneamiento de agua potable. Incluso los países más avanzados y poderosos están sufriendo las consecuencias de estas crisis climáticas. Los niveles de los pantanos y embalses en países como Italia y España han alcanzado mínimos históricos, lo que ha obligado a las autoridades a imponer restricciones para regular el uso del agua y asegurar su disponibilidad para todos.

Por todo ello, es más importante que nunca que las empresas encargadas del manejo y la gestión de estos recursos vitales sean responsables y eficientes. Estas empresas deben ir más allá de la búsqueda del beneficio económico, que es natural en cualquier entidad

empresarial, y comprometerse también con la preservación y el uso sostenible de los recursos naturales, en particular del agua. La preservación de este recurso no solo es esencial para el bienestar común, sino que también es fundamental para la propia subsistencia de estas empresas.

En este trabajo se realizará un análisis exhaustivo de las principales empresas del sector del agua a nivel mundial. Se compararán estas empresas en función de una variedad de datos relacionados con su volumen de trabajo, su impacto medioambiental y su rentabilidad económica. La evaluación de su eficiencia se llevará a cabo mediante el uso de herramientas avanzadas como el Análisis de Envoltura de Datos (DEA) y otros indicadores de eficiencia. Para ello, se utilizará el software académico denominado EMS (Efficiency Measurement System), que permitirá realizar comparaciones detalladas entre las diferentes empresas basándose en criterios específicos que se explicarán posteriormente.

Este análisis tiene como objetivo no solo identificar cuáles de estas empresas son las más eficientes en términos de gestión de recursos y sostenibilidad, sino también proporcionar recomendaciones sobre las mejores prácticas que pueden adoptarse para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. A través de este enfoque, se espera contribuir a un mejor manejo de los recursos hídricos, promoviendo un uso más sostenible y responsable que beneficie tanto a la sociedad como al medio ambiente en su conjunto.

1.1. Estructura del documento

El trabajo se diferenciará en varios bloques diferentes. El primero consta de la introducción del trabajo y las motivaciones que han llevado a realizar el mismo. Posteriormente, en un segundo bloque se explicarán las herramientas a utilizar, junto con la metodología que se va a seguir para poder trabajar con estos indicadores, su nomenclatura y el funcionamiento de las diferentes tecnologías y modelos.

En un tercer bloque, se indicarán las empresas con las que se va a realizar el trabajo y el proceso que siguen, bien para el abastecimiento de la sociedad, sean sociedades o particulares, o bien para la recogida y tratamiento de las aguas residuales.

En el cuarto bloque se trabajará con esos datos relativos a las empresas del sector del agua comentadas previamente, primero se realizarán una serie de ratios comparativos de carácter económico y medioambiental, para a continuación, poner en funcionamiento el software EMS y realizar el estudio de 3 modelos diferentes de problema, uno más enfocado en el aspecto medioambiental, un segundo modelo buscando la eficiencia a nivel económico, que no hay que olvidar que es un aspecto crucial en el funcionamiento adecuado de cualquier empresa, y por último, un tercer modelo que combine ambos aspectos tan importantes en una empresa de cualquier sector dedicado a la gestión de recursos naturales.

En el último bloque se analizarán los resultados recogidos de la aplicación, con una breve conclusión e intento de ofrecer posibles alternativas que busquen optimizar el rendimiento de las empresas en los diferentes aspectos estudiados.

2 Herramientas

Como se ha mencionado anteriormente, para analizar las empresas y determinar cuál posee un mayor nivel de eficiencia, es imprescindible apoyarse en una serie de herramientas, técnicas e indicadores que permitan ajustar la búsqueda según el criterio que se desee utilizar. Este proceso implica una comprensión profunda de que habrá indicadores en los que un criterio estará ponderado por encima de otro, de tal forma que se estudie un espectro de soluciones completamente diferente al que se obtendría si se utilizara otro conjunto de indicadores que otorgaran mayor importancia a criterios distintos. La elección y el uso de estos indicadores no es una tarea sencilla. Es crucial seleccionar una amplia variedad de indicadores para asegurar que las soluciones obtenidas sean homogéneas y que se tenga en cuenta una cantidad considerable de información relevante. Los indicadores económicos pueden incluir métricas como el costo operacional, los ingresos y la rentabilidad, mientras que los indicadores medioambientales pueden abarcar aspectos como la huella de carbono, el uso de recursos naturales y las prácticas sostenibles. Asimismo, los indicadores sociales pueden considerar el impacto en las comunidades locales, la creación de empleo y las prácticas laborales. Habrá algunas herramientas y técnicas que, debido a su precisión y fiabilidad, parecerán más intuitivas y confiables. Estas pueden incluir metodologías de análisis avanzado de datos, modelos de simulación y software especializado, como el Análisis de Envoltura de Datos (DEA) y el Efficiency Measurement System (EMS).

Por otro lado, también existen herramientas que, aunque puedan parecer menos intuitivas a primera vista, proporcionan perspectivas valiosas y únicas cuando se interpretan correctamente. Estas herramientas pueden involucrar análisis cualitativos, evaluaciones multicriterio y enfoques heurísticos. El papel del usuario en este proceso es fundamental. Aunque las herramientas y los indicadores proporcionan datos y resultados, es el usuario quien debe interpretar estos resultados y extraer conclusiones significativas. Esto requiere tomar decisiones subjetivas en función del peso que se desee otorgar a cada criterio de decisión. Por ejemplo, en un contexto económico, se podría priorizar la rentabilidad y la eficiencia de costos, mientras que en un contexto medioambiental, la sostenibilidad y la reducción del impacto ecológico podrían ser los factores predominantes. En un contexto social, la equidad y el impacto en las comunidades locales podrían tener mayor relevancia. Además, es importante reconocer que estas decisiones subjetivas pueden variar según el objetivo del análisis y las prioridades de las partes interesadas. En algunos casos, se puede optar por un enfoque equilibrado que intente armonizar los criterios económicos, sociales y medioambientales. En otros casos, se puede priorizar un aspecto específico debido a la naturaleza del problema o las demandas de los stakeholders.

Por tanto, para sacar conclusiones a partir de los datos resultantes, es esencial considerar cuidadosamente el contexto y los objetivos del análisis, y aplicar un juicio informado que tome en cuenta la relevancia y la importancia de cada criterio. Esto permitirá obtener una evaluación más completa y matizada de la eficiencia de las empresas estudiadas, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones estratégicas y operativas. En resumen, el análisis de la eficiencia empresarial es un proceso complejo y multifacético que requiere una cuidadosa selección y aplicación de herramientas, técnicas e indicadores. La interpretación de los resultados y la toma de decisiones basada en estos resultados deben considerar una variedad de criterios y ponderaciones, reflejando un enfoque equilibrado que tenga en cuenta los aspectos económicos, sociales y medioambientales. A través de este enfoque integral, se pueden obtener insights valiosos que contribuyan a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las empresas en el sector del agua y más allá.

2.1. MÉTODO DE ANÁLISIS POR ENVOLTURA DE DATOS (DEA)

2.1.1. DMU'S

El método de Análisis de Envoltura de Datos, conocido como Data Envelopment Analysis (DEA), es una técnica comúnmente utilizada para evaluar la eficiencia relativa de un conjunto de datos correspondientes a un elemento específico. Estos elementos se denominan Decision Making Units (DMUs), y se clasifican como entradas o salidas dependiendo de si se consideran recursos o resultados. El DEA es una técnica matemática no paramétrica basada en modelos de programación lineal, desarrollada en 1978 por los investigadores A. Charnes, W.W. Cooper y E. Rhodes. Su objetivo principal es obtener un escalonamiento que minimice la proporción de recursos consumidos sin afectar negativamente a los resultados. El DEA se basa en la premisa de comparar múltiples DMUs para determinar cuáles operan en la "frontera eficiente" y cuáles no. Aquellas DMUs que se encuentran en esta frontera son consideradas eficientes, mientras que las que se sitúan por debajo de la misma son consideradas ineficientes. La eficiencia se mide como la relación entre las salidas generadas y las entradas utilizadas.



Ilustración 1. Modelo DEA (Diseño Propio)

Para garantizar una evaluación justa y precisa, es crucial que las unidades sean medibles y homogéneas, es decir, que se puedan comparar de manera directa y significativa. Para lograr esta homogeneidad y comparabilidad, el DEA asigna pesos a las diferentes entradas y salidas. Estos pesos se determinan de manera que los datos se vuelvan adimensionales e independientes de las unidades de medida originales. Este proceso permite que el análisis sea flexible y adaptable a diferentes contextos y tipos de datos, facilitando la comparación entre DMUs que operan en diversas condiciones y con diferentes recursos.

Por esto, modelándolo matemáticamente podríamos expresar las entradas y salidas de la siguiente manera:

$$\text{Entradas}_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Salidas}_j = \sum_{k=1}^m P_{kj} y_{kj}$$

Siendo x_{ij} la cantidad de recurso utilizado por la unidad j e y_{kj} la cantidad de producto obtenido por unidad j , n el número de entradas y m el de salidas, y por último P_{ij} y P_{kj} los pesos de cada entrada y salida respectivamente.

Otro término que está estrechamente ligado a este método es el concepto de productividad, el cual se define como la relación existente entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados. En términos simples, la productividad mide cuán eficientemente se utilizan los recursos disponibles para generar los resultados deseados. Una mayor productividad indica un mejor aprovechamiento de los recursos, lo que significa que se están generando más resultados con la misma cantidad de recursos, o bien, los mismos resultados con una menor cantidad de recursos. La productividad es un concepto crucial en el análisis de eficiencia, ya que proporciona una medida cuantitativa del rendimiento operativo. Al evaluar la productividad, es posible identificar no solo cuán bien se están utilizando los recursos, sino también dónde existen oportunidades para mejorar la eficiencia. Esto es especialmente relevante en el contexto del DEA, donde la comparación de la productividad entre diferentes DMUs puede revelar cuáles unidades están operando de manera más eficiente. Por lo que la expresión matemática de la productividad podríamos representarla así:

$$Productividad_j = \frac{Salidas_j}{Entradas_j}$$

Este dato de la productividad no ofrece información relevante al aislarla, pero si la comparamos entre las diferentes DMUs y sus máximos podemos obtener el dato de la eficiencia relativa.

$$Eficiencia\ relativa\ j = \frac{Productividad_j}{Productividad_0}$$

Siendo la productividad de una unidad de referencia (o) el parámetro contra el cual se compara la productividad estudiada, podemos obtener diferentes valores para expresar la eficiencia de diversas maneras:

- Eficiencia global: Este valor se obtiene cuando la unidad de referencia es la de mayor productividad entre todas las unidades estudiadas. Representa el estándar de máxima eficiencia contra el cual se comparan todas las demás unidades.
- Eficiencia técnica: En este caso, la unidad de referencia es la de mayor productividad dentro de un grupo de unidades de tamaño similar. Esta medida se enfoca en la eficiencia relativa considerando unidades con características comparables, especialmente en términos de tamaño y recursos utilizados.
- Eficiencia de escala: Este valor se calcula como el coeficiente entre la eficiencia global y la eficiencia técnica. La eficiencia de escala evalúa en qué medida la unidad estudiada está operando a una escala óptima, considerando la relación entre su eficiencia global y técnica.

A la DMU cuyo valor de eficiencia es igual a 1, se le considera eficiente, ya que está operando al nivel de productividad de la unidad de referencia. Por otro lado, a las DMUs cuyo valor de eficiencia es menor que 1, se les considera ineficientes, dado que existen

otras DMUs con mayores niveles de eficiencia. Estas DMUs ineficientes pueden mejorar su desempeño al adoptar las prácticas de las DMUs eficientes o ajustando su escala de operación para optimizar el uso de recursos.

2.1.2. TECNOLOGÍAS

Para poder plantear adecuadamente los diferentes modelos de la metodología DEA (Data Envelopment Analysis), es esencial comprender el concepto de tecnologías y los diferentes tipos que existen. En el contexto de DEA, las tecnologías, también conocidas como Conjuntos de Posibilidades de Producción o Production Possibility Set (PPS), se refieren al conjunto de puntos de operación admisibles o factibles que se encuentran por debajo de la línea de máxima producción.

La línea de máxima producción representa la frontera eficiente, es decir, la combinación óptima de entradas y salidas que define los límites de producción eficientes. Cualquier punto que se encuentre en esta línea o debajo de ella se considera factible, mientras que los puntos por encima de la línea se consideran inalcanzables con los recursos disponibles.

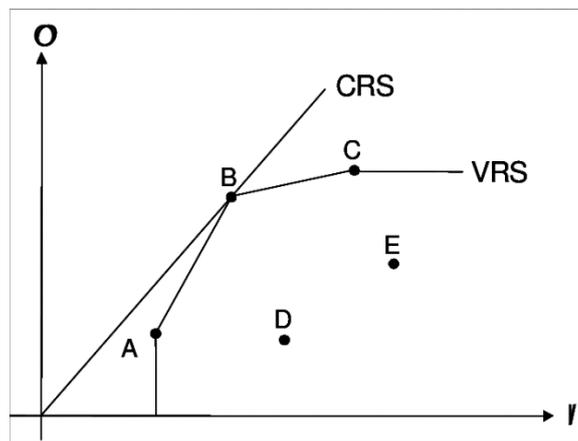


Ilustración 2. Modelo DEA

Existen una serie de axiomas que caracterizan las tecnologías en la metodología DEA.

- Envoltura: Este axioma establece que, dada una DMU j , su punto de operación (x_j, y_j) pertenece a la tecnología. Esto significa que el conjunto de combinaciones de entradas y salidas consideradas en el análisis debe incluir todos los puntos de operación observados.

$$(x_j, y_j) \in T \quad \forall j$$

- Libre disponibilidad: Según este axioma, si un punto de operación pertenece a una tecnología, entonces todos los puntos con un mayor consumo de recursos o una menor producción también pertenecen a dicha tecnología. Esto refleja la idea de que, si una combinación de entradas y salidas es factible, cualquier combinación que utilice más recursos para producir la misma cantidad o menos de productos también debe serlo.

$$(x, y) \in T \rightarrow (x^u, y^u) \quad \forall x^u \leq x, y^u \geq y$$

- Convexidad: Este axioma indica que, si dos puntos pertenecen a una tecnología,

entonces todos los puntos del segmento que los unen también pertenecen a esa tecnología.

$$(x_1, y_1) \in T; (x_2, y_2) \in T \rightarrow [\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2, \lambda y_1 + (1 - \lambda)y_2] \in T \quad \forall \lambda [0,1]$$

- **Escalabilidad:** Este axioma establece que si un punto de operación (x,y) pertenece a una tecnología, los puntos obtenidos escalando ese punto también pertenecen a la tecnología. La escalabilidad puede ser hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de si los rendimientos son crecientes o decrecientes. Este axioma permite la expansión o contracción de las operaciones manteniendo la pertenencia al PPS.

$$(x, y) \in T \rightarrow (\lambda x, \lambda y) \in T \quad \forall \lambda \geq 0$$

- Escalabilidad hacia arriba: Afirma que pertenecen a la tecnología los puntos escalados hacia arriba.

$$(x, y) \in T \rightarrow (\lambda x, \lambda y) \in T \quad \forall \lambda \geq 1$$

- Escalabilidad hacia abajo: Afirma que pertenecen a la tecnología los puntos escalados hacia abajo.

$$(x, y) \in T \rightarrow (\lambda x, \lambda y) \in T \quad \forall \lambda \in [0,1]$$

Si una DMU cumple con los cuatro axiomas descritos previamente, se dice que opera bajo una tecnología de Retornos de Escala Constante (Constant Return to Scale, CRS). Esto significa que la relación entre las entradas y las salidas es proporcional y constante, de modo que cualquier aumento proporcional en las entradas resulta en un aumento proporcional en las salidas, y viceversa. La tecnología CRS es ideal para situaciones donde las unidades de decisión pueden operar eficientemente sin importar su escala de producción.

Si una DMU cumple con tres de los cuatro axiomas (es decir, envoltura, libre disponibilidad y convexidad, pero no escalabilidad), entonces se clasifica bajo una tecnología de Retorno de Escala Variable (Variable Return to Scale, VRS). Esto implica que las unidades de decisión pueden experimentar economías o deseconomías de escala dependiendo de su tamaño de operación. La tecnología VRS es más flexible y puede capturar una gama más amplia de condiciones operativas que la tecnología CRS.

Por último, si una DMU solo cumple con dos de los cuatro axiomas (envoltura y libre disponibilidad, pero no convexidad ni escalabilidad), entonces se ajusta a una tecnología de Free Disposal Hull (Método de Disposición Libre, FDH). Esta es la categoría menos común y de menor utilidad en el contexto de DEA, ya que implica que casi todos los puntos observados se consideran eficientes. La falta de convexidad y escalabilidad en la tecnología FDH puede limitar su aplicabilidad práctica en el análisis de eficiencia, ya que no refleja adecuadamente las relaciones de producción reales.

2.1.2.1. Retorno de Escala Constante (CRS)

Se denominará CRS si se considera que cualquier unidad puede alcanzar la prioridad máxima, independientemente de su tamaño. Por ello, en esta tecnología, en el cálculo de la eficiencia la unidad de referencia siempre será la máxima, calculándose la eficiencia global.

Esto reduce el conjunto de DMUs admisibles a:

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

Siendo X e Y las matrices de entrada y salida respectivamente, con DMU filas, en X tantas columnas como entradas y en Y, como salidas. Mientras $\vec{\lambda}$ es un vector con DMU componentes.

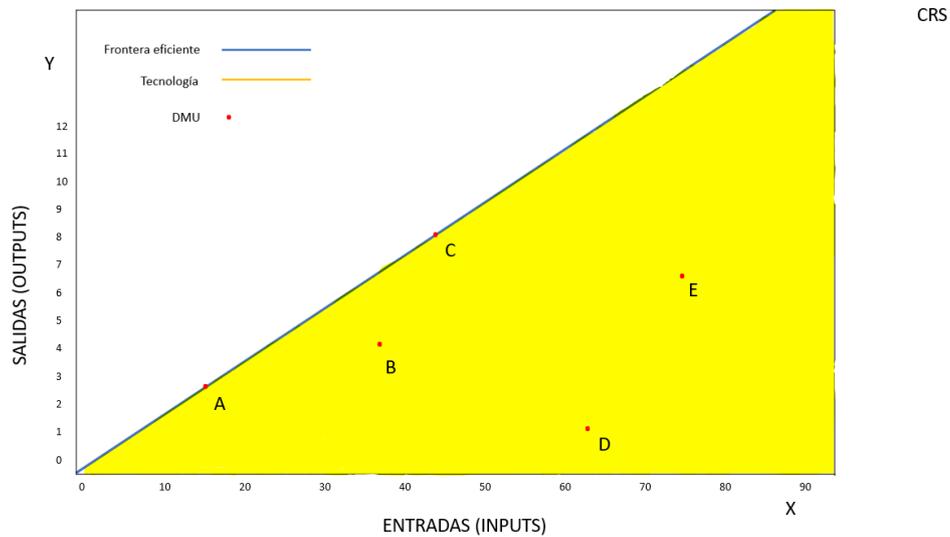


Ilustración 3. Modelo CRS (Diseño propio)

Y en la siguiente ilustración se puede ver las proyecciones de los puntos ineficientes sobre la frontera de eficiencia (Véase ilustración 4).

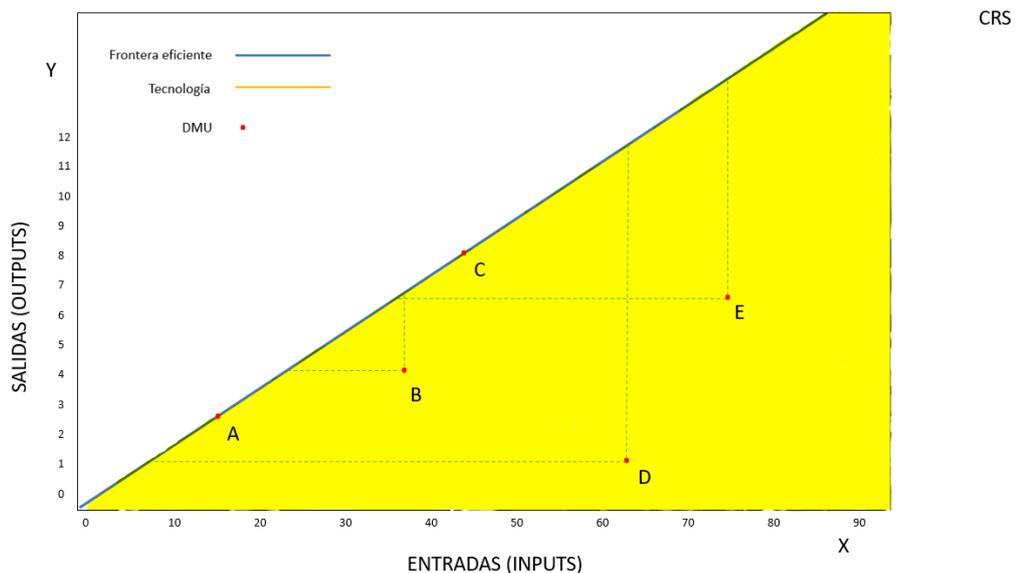


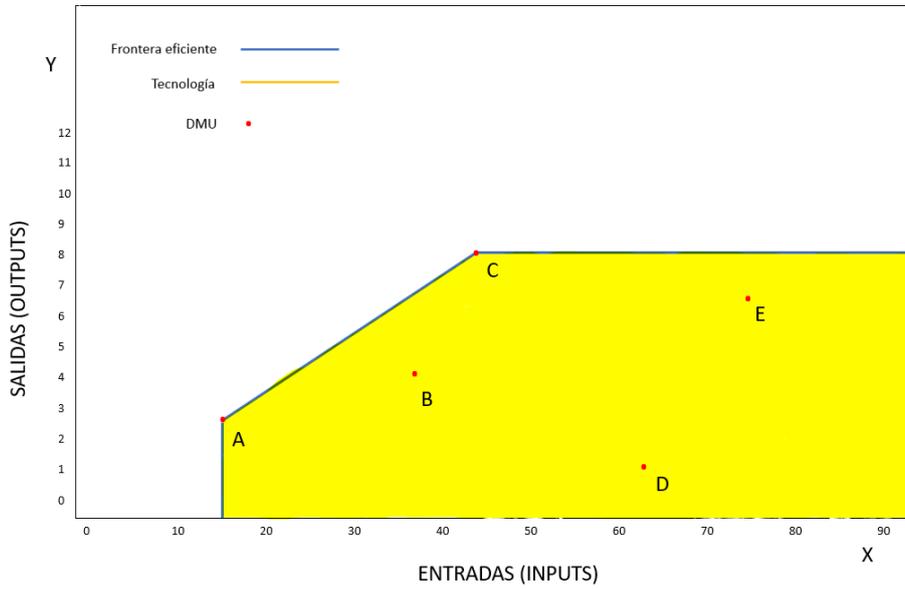
Ilustración 4. Modelo CRS. Proyecciones (Diseño propio)

2.1.2.2. Retornos de Escala Variable (VRS)

Se denomina Retorno de Escala Variable a aquellas DMUs que se evalúan términos de eficiencia relativa, tomando en consideración únicamente aquellas DMUs que poseen una magnitud similar. Este enfoque es fundamental, ya que permite una comparación más equitativa y precisa, reconociendo que las DMUs de diferente tamaño pueden enfrentar condiciones y limitaciones operativas distintas.

Entonces, el conjunto de puntos admisibles vendrá dado por:

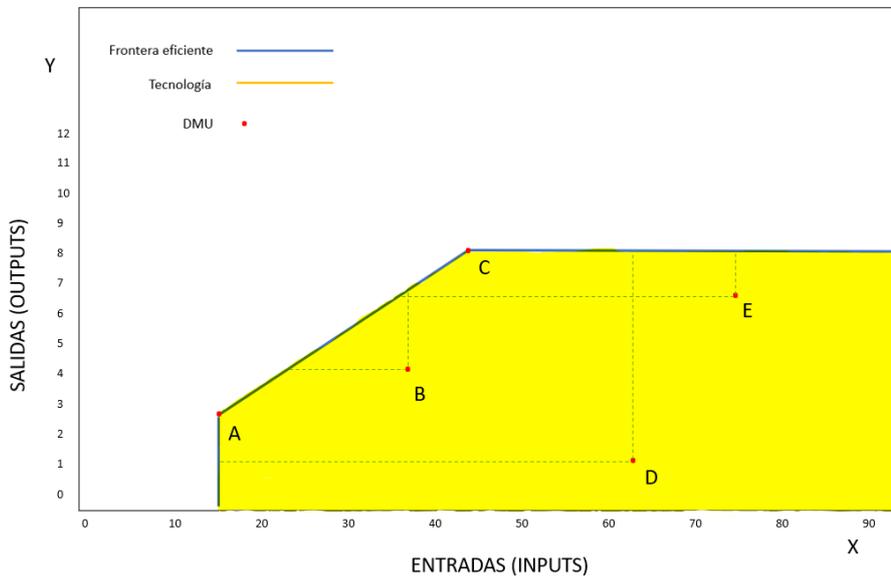
$$T_{VRS} = \{(\vec{x}, \vec{y}) : \exists \vec{\lambda} \geq 0, \vec{\lambda}X \leq \vec{x}; \vec{\lambda}Y \geq \vec{y}; \vec{\lambda}e^T = 1\}$$



VRS

Ilustración 5. Modelo VRS (Diseño propio)

Y en la siguiente ilustración se puede ver las proyecciones de los puntos ineficientes sobre la frontera de eficiencia (Véase ilustración 6).



VRS
in/out

Ilustración 6. Modelo VRS. Proyecciones (Diseño Propio)

En la siguiente ilustración se puede ver la frontera común que comparten el modelo de Retorno de Escala Constante (CRS) con el modelo de Retorno de Escala Variable (VRS) (Véase ilustración 7).

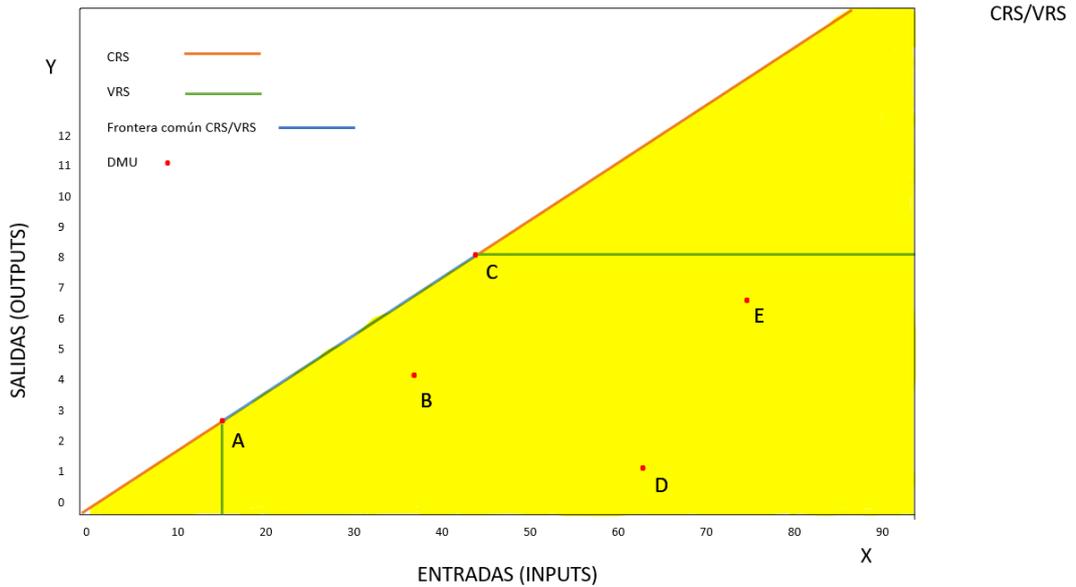


Ilustración 7. Relación CRS/VRS (Diseño Propio)

2.1.2.3. Retorno de escalabilidad hacia abajo (NIRS) y hacia arriba (NDRS)

Los retornos de escalabilidad hacia arriba y hacia abajo representan un caso intermedio entre los modelos de Retornos de Escala Constante (CRS) y los de Retornos de Escala Variable (VRS). En el contexto del CRS, la escalabilidad se cumple completamente, lo que implica que cualquier aumento proporcional en las entradas resultará en un aumento proporcional en las salidas. Por el contrario, en el VRS, la escalabilidad no se cumple, reflejando la realidad de que las unidades de decisión pueden experimentar economías o deseconomías de escala.

Dentro de la definición del axioma de escalabilidad, se distinguen dos subtipos específicos: escalabilidad hacia arriba y escalabilidad hacia abajo. La escalabilidad hacia arriba se refiere a situaciones en las que una unidad de decisión puede aumentar sus entradas sin disminuir su eficiencia relativa. Este tipo de escalabilidad da lugar a la tecnología de Rendimientos No Decrecientes a Escala (NDRS). En esta tecnología, las unidades de decisión pueden aumentar sus entradas y aún mantener o mejorar sus niveles de producción sin experimentar una disminución en la eficiencia (véase ilustración 9). Mientras que la escalabilidad hacia abajo se refiere a la capacidad de una unidad de decisión para reducir sus entradas sin perder eficiencia relativa. Este tipo de escalabilidad se refleja en la tecnología de Rendimientos No Crecientes a Escala (NIRS). En la tecnología NIRS, las unidades de decisión pueden reducir sus entradas y aún mantener niveles de producción adecuados, sin una reducción proporcional en la eficiencia (véase ilustración 8).

$$T_{NIRS} = \{(x, y): \exists \vec{\lambda} \geq 0, \vec{\lambda}X \leq \vec{x}; \vec{\lambda}Y \geq \vec{y}; \sum_j \lambda_j \leq 1\}$$

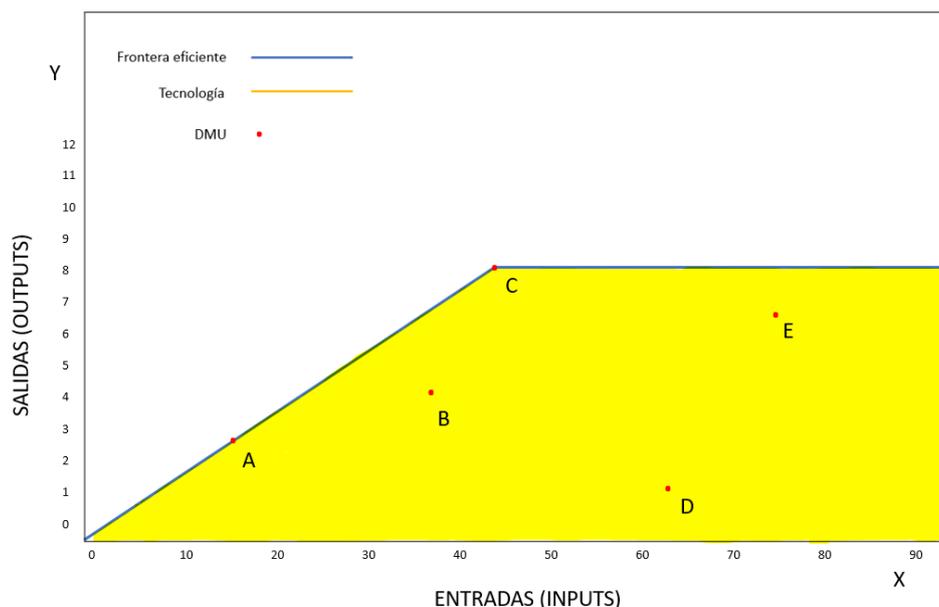


Ilustración 8. Modelo NIRS (Diseño Propio)

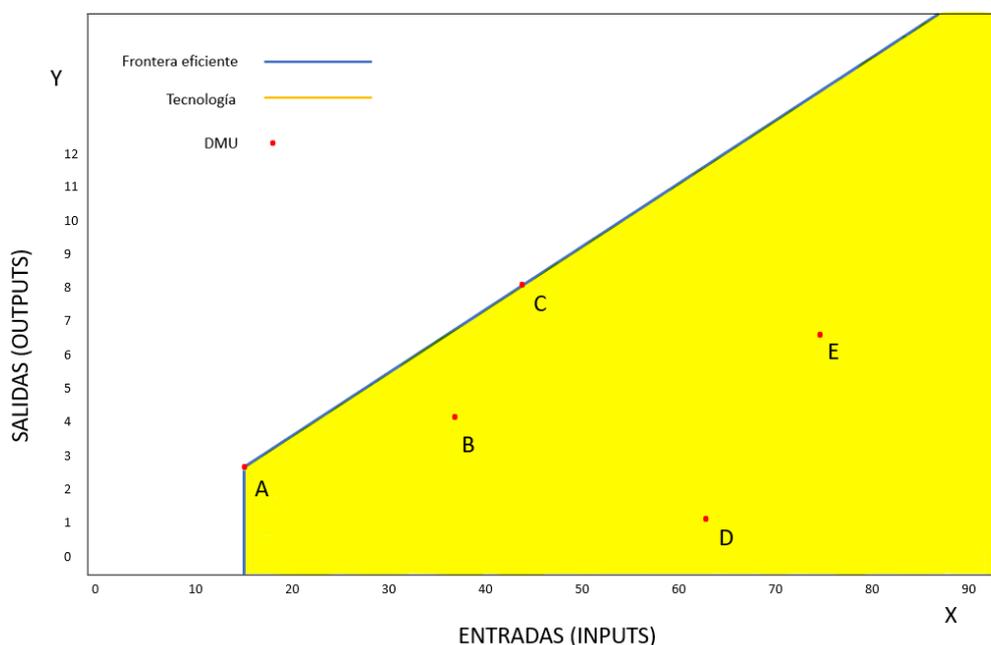


Ilustración 9. Modelo NDRS (Diseño Propio)

2.1.2.4. Free Disposal Hull (FDH)

Esta tecnología no considera los axiomas de escalabilidad y convexidad, lo cual tiene importantes implicaciones para la definición de la frontera de eficiencia. Dado que se omiten estos axiomas, la frontera de eficiencia se construye directamente a partir de los puntos que son considerados eficientes. En otras palabras, los puntos de eficiencia se utilizan como referencia, y los puntos ineficientes se proyectan sobre esta frontera. De esta forma, cuando se proyectan los puntos ineficientes sobre la frontera de eficiencia, se observa que en el vector $\vec{\lambda}$ solo un componente tendrá un valor de 1, mientras que los demás componentes serán 0. Esto significa que cada punto ineficiente se compara únicamente con un punto eficiente específico en lugar de una combinación convexa de varios puntos eficientes. Según esta tecnología la mayoría de los puntos son eficientes,

por lo que no es especialmente útil:

$$T_{FDH} = \left\{ (\vec{x}, \vec{y}) : \exists \vec{\lambda} \geq 0, \vec{\lambda}X \leq \vec{x}; \vec{\lambda}Y \geq \vec{y}; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \in \{0,1\} \right\}$$

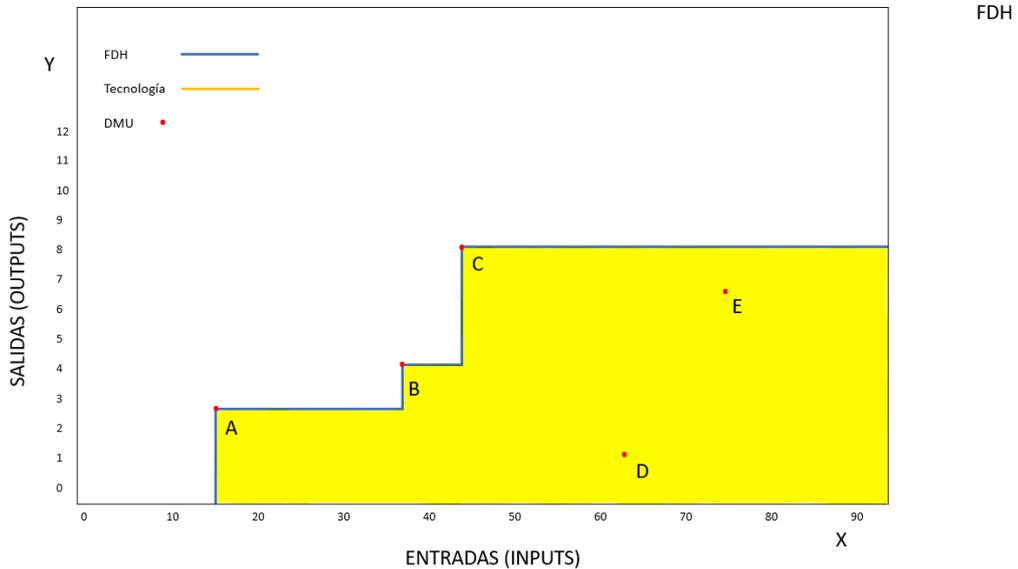


Ilustración 10. Modelo FDH (Diseño Propio)

2.1.3. Orientación del modelo

Según el factor que se busca ajustar para alcanzar la eficiencia, existen tres orientaciones principales para el modelo: orientación de entrada (input), orientación de salida (output), y orientación no dirigida. Cada enfoque proporciona una perspectiva diferente sobre cómo las DMUs pueden mejorar su rendimiento y alcanzar niveles óptimos de eficiencia operativa.

2.1.3.1. Modelo con orientación de entrada (Input orientation)

En un modelo con orientación de entrada, el enfoque principal está en minimizar las entradas necesarias para producir una cantidad dada de salidas. Este tipo de modelo es útil en situaciones donde los recursos son escasos o costosos, y el objetivo es reducir el consumo de estos recursos manteniendo el nivel de producción. La eficiencia se logra cuando una DMU puede producir la misma cantidad de salidas utilizando menos recursos.

2.1.3.2. Modelo con orientación de salida (Output orientation)

En un modelo con orientación de salida, el objetivo es maximizar las salidas utilizando una cantidad fija de entradas. Este enfoque es adecuado en contextos donde la demanda de productos o servicios alta y se desea aumentar la producción o el rendimiento sin incrementar el uso de recursos. La eficiencia se logra cuando una DMU puede generar más salidas con los mismos recursos.

2.1.3.3. Modelo no orientado (Non-oriented)

Un modelo no dirigido no prioriza ni las entradas ni las salidas específicamente, sino que busca un equilibrio entre ambas. Este enfoque es útil cuando tanto la reducción de insumos como el aumento de productos son igualmente importantes. La eficiencia se

evalúa considerando simultáneamente las oportunidades para minimizar entradas y maximizar salidas.

2.1.4. Modelos DEA

A partir de las tecnologías discutidas anteriormente, se derivan diversos modelos matemáticos que se emplean en el análisis DEA. La elección del modelo adecuado depende de la naturaleza de los datos recopilados y los objetivos específicos del análisis de eficiencia. A continuación, se describen algunos de los principales modelos DEA que surgen de estas tecnologías.

2.1.4.1. Modelos con retornos de escala constante (CRS ó CCR)

Es un modelo planteado por Charles, Cooper y Rhodes en 1978, este modelo considera que cualquier unidad puede ser tan productiva como las unidades eficientes, independientemente del tamaño de la unidad. La DMU de referencia será la unidad más productiva, por lo que se estudiará la eficiencia global, la que por propia definición implica que la unidad de referencia será la de mayor productividad independientemente del tamaño.

Modelo Ratio:

Es el modelo inicial del que surgen el resto de los modelos. En este, la productividad de cada unidad es estudiada en función al peso que mejor eficiencia le aporta. Se denomina modelo ratio por la función objetivo. Se trata de un problema no lineal.

$$MAX \left[h_j = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}} \right]$$

s.a:

$$\frac{\sum_{k=1}^s v_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_{kj} \geq \varepsilon \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$u_{ij} \geq \varepsilon \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Este modelo cuenta con una restricción para cada unidad, y obligando que todas las eficiencias de las DMU estudiadas sean menores que 1. Además, existe un número real positivo definido por epsilon, que fuerza a los pesos a ser mayores que 0.

Este modelo no tiene por qué ser realista, ya que, al operar con retornos de escala constantes, busca replicar el comportamiento de la DMU con la de su mejor eficiencia, provocando variaciones de entradas y salidas que no son posibles en la realidad.

Modelo CRS-INPUT

Para facilitar la resolución del modelo ratio visto previamente, se transforma el modelo no lineal en un problema lineal equivalente, cambiando los ratios anteriores por expresiones lineales más sencillas. Este modelo es aplicable para el caso de tener orientación de entrada.

Este modelo se suele expresar en su forma dual ya que los datos son más sencillos de analizar.

$$MIN \theta_j - \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

θ_j libre

Este modelo se define como forma envolvente, y cuenta con un total de n DMU's, con sus m entradas y p salidas para cada DMU.

La frontera de la tecnología la generan las n variables de λ_j y se corresponden con las n restricciones del modelo primal, mientras que θ_j corresponde a la restricción sobrante y las holguras h_i^- y h_k^+ que determinan cuanto tienen que reducirse las entradas y ampliarse las salidas, respectivamente, de forma que se alcance la eficiencia. Ambas holguras deben ser mayores o iguales que 0.

Los subíndices del modelo son: j hace referencia a la DMU, mientras que J es la DMU que se encuentra en estudio en ese momento, por último, i y k son las entradas y salidas respectivamente.

Para transformar el modelo a su expresión dual se aplicarán dos fases:

FASE I:

$$MIN \theta_j$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

θ_j libre

Resolviendo este primer modelo se obtiene la segunda fase (Θ_j^*).

FASE II:

$$MIN - \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j^* x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

En la primera fase o fase radial, se busca reducir las entradas, acercando así el punto a la frontera tecnológica y obteniendo así el valor de Θ_j^* .

De esta forma pese a que los puntos podrían proyectarse sobre la frontera, estos podrían no ser del todo eficientes, ya sea por generar poco productos o consumir demasiado recurso, por lo que, con la segunda fase, se aplican los desplazamientos sobre la frontera eficiente.

En la segunda fase se calcula el valor de las holguras de forma que el punto alcance la frontera eficiente. Este proceso se realiza mediante la reducción rectangular de las entradas influyentes en el problema. La DMU_j será eficiente cuando las holguras sean nulas y Θ_j sea igual a 1, es decir que no sea posible aplicar ninguna mejora. En cambio, si las holguras no se pueden hacer nulas, habrá que proyectar paralelamente al eje de la holgura para conseguir alcanzar esa frontera de eficiencia.

Modelo CRS-OUTPUT

Este modelo es similar al anterior salvo que en este caso el modelo debe tener orientación de salida, y la función objetivo de este modelo viene dada por la inversa de la eficiencia relativa de la DMU_j , siendo siempre mayor o igual a 1.

De esta manera, el modelo dual seguirá la siguiente estructura:

$$MAX \gamma_j + \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = \gamma_j y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

$$\gamma_j \text{ libre}$$

γ_j es una variable que indica el factor multiplicador que habrá que aplicar a los productos de salida para considerarlos eficientes, por ello deberán ser mayores o iguales a la unidad. Y al igual que en el modelo anterior, si γ_j es igual a la unidad y ambas holguras son nulas, la DMU será eficiente, mientras que, si las holguras no pueden hacerse nulas, se realizará una proyección paralela al eje variable de la holgura.

Para este modelo también es necesario realizar dos fases, una primera radial y posteriormente, la de la proyección rectangular o los desplazamientos hacia la frontera.

FASE I:

$$\begin{aligned}
 & \text{MAX } \gamma_j \\
 & \text{s.a:} \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j \geq \gamma_j y_{kj} \quad k = 1, 2, \dots, s \\
 & \lambda_j \geq 0 \\
 & \gamma_j \text{ libre}
 \end{aligned}$$

Al igual que en la primera fase del modelo anterior, se obtiene el valor óptimo de γ_j , factor multiplicador el cual acerca el punto a la frontera de eficiencia tecnológica, por lo que puede comenzar a aplicarse la segunda fase.

FASE II:

$$\begin{aligned}
 & \text{MAX } \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] \\
 & \text{s.a:} \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = \gamma_j * y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s \\
 & \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0
 \end{aligned}$$

2.1.4.2. Modelo con retornos de escala variables (VRS)

El modelo con Retorno de Escala Variable o modelo de Banker, Charnes y Cooper (BCC) se aplica en el caso de que no se pueden usar los anteriores por tener retornos de escala variable. Será necesaria alguna especificación o variable para poder comparar las unidades con las de su tamaño y no con las que difiera, para que se consideren los retornos de escala variable.

Modelo VRS-INPUT

Este modelo con orientación de entrada es similar al de escala constante CRS, partiendo del modelo ratio, salvo que se le añade una variable o restricción que se compare a la DMU_j a estudiar con otras unidades de su propio tamaño y no con todas las unidades representadas del problema.

La expresión que define al modelo es la siguiente:

$$MIN \theta_j - \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

θ_j libre

Como se puede observar ha aparecido una restricción extra que fuerza que la proyección de la DMU se realice sobre las unidades de su mismo tamaño. Por ello, habrá algunas unidades que en el modelo anterior no eran eficientes, pero en este sí lo son. Este modelo también se resolverá por dos fases.

FASE I:

$$MIN \theta_j$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

θ_j libre

De esta primera fase se obtiene el óptimo (θ_j^*), y se procede con la segunda fase:

FASE II:

$$MIN - \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j^* x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

MODELO VRS-OUTPUT

Este modelo es similar al anterior salvo que en este caso el modelo sigue una orientación de salida, por lo que para alcanzar la frontera tecnológica habrá que aumentar los niveles de producción a la salida.

El modelo matemático quedaría así:

$$\begin{aligned} & MAX \gamma_j + \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] \\ & \text{s.a:} \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = \gamma_j y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0 \\ & \gamma_j \text{ libre} \end{aligned}$$

Siendo γ_j el factor multiplicador del porcentaje de salidas, es decir, cuanto habrá que aumentar los productos para acercarse a la frontera eficiente.

Se necesitan dos fases para modelar este problema, la primera fase radial y la segunda rectangular:

FASE I:

$$\begin{aligned} & MAX \gamma_j \\ & \text{s.a:} \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j \geq \gamma_j y_{kj} \quad k = 1, 2, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \\ & \gamma_j \text{ libre} \end{aligned}$$

Obteniéndose así el valor óptimo, γ_j , con el que realizar la segunda fase:

FASE II:

$$MAX \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = \gamma_j * y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

2.1.4.3. Modelos no orientados

Modelo aditivo:

Este modelo fue propuesto por Charles en 1985 y elaborado por Banker en 1989. El modelo aditivo se caracteriza por su proyección en una sola fase, es decir, que las unidades ineficientes se proyectan directamente hacia la frontera eficiente en un único paso (a diferencia de los casos anteriores). Pero lo que caracteriza principalmente al modelo aditivo es el enfoque no orientado, lo que significa que no prioriza exclusivamente la reducción de entradas o el aumento de salidas, sino que busca simultáneamente mejorar la eficiencia en ambos frentes, pero de manera independiente. Este modelo se estructura para que las modificaciones en recursos y productos se realicen sin depender unas de otras, permitiendo una flexibilidad que no se encuentra en los modelos orientados. Esto es particularmente útil en situaciones donde ambos aspectos son igualmente importantes para la eficiencia operativa.

El modelo matemático se expresa de la siguiente manera:

$$MAX \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s.a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = \gamma_j * y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

Se puede comprobar que este modelo sigue las mismas unidades que el VRS, pero en este caso, aunque una DMU parezca ineficiente puede variar su eficiencia para cada modelo debido a que se usan métricas distintas.

3. Procesos y empresas a analizar

Las empresas del sector del agua realizan una variedad de procesos cruciales para garantizar el suministro de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. Aunque existen varios tipos de procesos, los principales incluyen el abastecimiento de agua potable a domicilios particulares y empresas, y la recogida, depuración y tratamiento de aguas residuales. Además, estas empresas se encargan del mantenimiento y la reparación de las tuberías. A continuación, se proporciona una breve explicación de estos procesos, seguida de una descripción de las empresas que serán objeto de estudio, junto con algunos de los datos obtenidos, los cuales se analizarán en términos de eficiencia en los próximos apartados.

3.1. Procedimiento general de abastecimiento de agua

La distribución de agua potable es un proceso vital que garantiza el acceso a un recurso esencial para la vida humana. Este procedimiento implica varias etapas cruciales, desde la captación y tratamiento del agua en fuentes naturales hasta su entrega en domicilios y empresas. Las empresas de agua desempeñan un papel fundamental en asegurar que el suministro sea seguro, constante y cumpla con todos los estándares de calidad. Este proceso no solo implica un gran esfuerzo en infraestructura, sino también un enfoque integral que abarca desde la captación responsable hasta la gestión eficiente de la red de distribución.

El proceso de abastecimiento es similar en todas las empresas del sector y consta de una serie de pasos comunes que son:

1. Captación y tratamiento: Las empresas del sector seleccionan cuidadosamente las fuentes naturales de agua, como ríos, lagos y acuíferos subterráneos, basándose en criterios de capacidad de suministro y calidad del agua disponible. Una vez captada, el agua se somete a un proceso de tratamiento completo. Este proceso incluye la eliminación de impurezas mediante técnicas como la coagulación, la floculación y la filtración, seguido de la desinfección para eliminar microorganismos y asegurar que cumpla con los estándares de calidad establecidos para el consumo humano.

2. Almacenamiento: El agua tratada se almacena en tanques y embalses estratégicamente ubicados. Este almacenamiento no solo garantiza un suministro continuo durante períodos de alta demanda, sino que también actúa como reserva estratégica para emergencias y mantenimientos programados. En la ilustración 11 (véase ilustración 11) se puede ver esos centros de almacenamiento de agua.



Ilustración 11. Centro de Almacenamiento de Agua

3. Red de distribución: Estas empresas poseen una extensa red de tuberías que transportan el agua desde los tanques de almacenamiento a los puntos de consumo, con sus correspondientes estaciones de bombeo que permiten que el agua fluya con un ritmo constante a través de las tuberías. A lo largo de la red de distribución, se colocan también medidores para monitorizar el consumo y controles de calidad que aseguran que el agua cumple con los estándares sanitarios. En la ilustración 12 (véase ilustración 12) se puede observar como se van conectando los centros de almacenamiento hasta los diferentes puntos de consumo.

4. Conexiones secundarias a domicilios y a empresas: Se disponen de unas salidas de las tuberías principales para que los clientes cuenten con su propia red de abastecimiento que será monitorizada para que el usuario pueda medir su consumo. A partir de esos medidores personales, se facturará un coste variable en función al volumen de agua consumida, además de otro coste fijo.

5. Mantenimientos y reparaciones: Es responsabilidad de las empresas de agua mantener, reparar y actualizar regularmente toda la infraestructura de abastecimiento. Esto incluye inspecciones periódicas, reparaciones de tuberías y equipos de bombeo, y la implementación de mejoras tecnológicas para optimizar la eficiencia operativa y minimizar las interrupciones en el servicio.

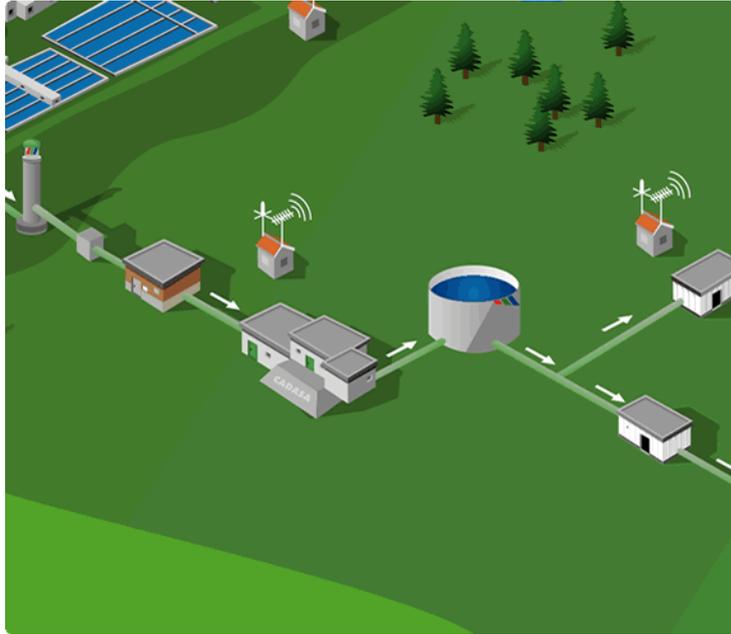


Ilustración 12. Centro de Distribución de Agua

En conclusión, La distribución de agua potable emerge como un proceso multifacético, donde la innovación tecnológica y la gestión eficiente convergen para proporcionar un recurso esencial para la vida cotidiana. Las empresas de agua, como pilares fundamentales de esta cadena, no solo cumplen con la tarea de suministrar agua potable, sino que también desempeñan un papel crucial en la promoción de prácticas sostenibles y en la construcción de comunidades resilientes alrededor de este recurso precioso.

3.2. Procedimiento general de recogida y tratamiento de aguas residuales

La recogida y tratamiento de aguas residuales es una función esencial para mantener la salud pública y preservar la integridad de nuestros ecosistemas acuáticos. Desde la recolección eficiente de aguas residuales hasta su tratamiento y liberación controlada, este proceso busca mitigar los impactos ambientales negativos y promover un uso responsable del recurso hídrico. El proceso de recogida, tratamiento y desinfección de aguas residuales consta de unos pasos diferentes que permiten reutilizar esa agua una vez descontaminada para otros usos tales como riego, procesos industriales y otros usos no potables, incluso devolverse a ríos o mares. En la ilustración 13 (véase ilustración 13) se pueden observar los diferentes tratamientos que siguen las aguas residuales para eliminar de estas la mayor parte de las impurezas. Estos pasos son:

1. Recogida: El proceso comienza con la recogida de aguas residuales desde diversos puntos como domicilios, empresas e industrias. Estas aguas residuales son transportadas a través de una extensa red de alcantarillado que abarca áreas urbanas y suburbanas. Se distinguen dos tipos principales de aguas residuales: las aguas negras, provenientes de inodoros y desagües de cocina, y las aguas grises, que incluyen efluentes de duchas, lavabos y lavadoras. Esta red de alcantarillado juega un papel crucial al canalizar las aguas residuales hacia las plantas de tratamiento, asegurando así su manejo eficiente y seguro.

2. Estaciones de bombeo: En terrenos con topografía irregular o grandes variaciones de elevación, se instalan estaciones de bombeo. Estas estaciones tienen la función vital de impulsar las aguas residuales a lo largo de la red de alcantarillado, superando desniveles y

garantizando que el flujo de aguas residuales alcance las plantas de tratamiento de manera efectiva. Su operación constante y eficiente es esencial para mantener el flujo continuo de aguas residuales a lo largo del sistema de alcantarillado.

3. Pretratamiento: Antes de ingresar al proceso principal, las aguas residuales pasan por una fase de pretratamiento. Esta etapa tiene como objetivo eliminar partículas grandes, sólidos gruesos y otros materiales que podrían dañar o sobrecargar los equipos de las plantas de tratamiento. El pretratamiento asegura que el agua llegue a las siguientes etapas del tratamiento con las condiciones óptimas para su procesamiento eficiente y efectivo.

4. Tratamiento primario: En la primera fase del tratamiento en las plantas, las aguas residuales se someten al tratamiento primario. Aquí, se utiliza principalmente la sedimentación para separar las partículas suspendidas y los sólidos más pesados del agua. Este proceso se lleva a cabo en tanques específicos donde las partículas sedimentadas, conocidas como lodos primarios, se separan del agua tratada. Estos lodos primarios son posteriormente procesados y tratados de manera adecuada para su disposición final.

5. Tratamiento secundario: Después del tratamiento primario, las aguas residuales continúan hacia el tratamiento secundario. Esta fase implica procesos biológicos avanzados donde microorganismos especializados descomponen la materia orgánica restante en el agua. Los tanques de aireación y los clarificadores son utilizados para fomentar la actividad de estos microorganismos, facilitando así la reducción de contaminantes orgánicos a compuestos más simples y menos perjudiciales. Este tratamiento biológico no solo mejora la calidad del agua, sino que también contribuye significativamente a la eliminación de contaminantes biodegradables.

6. Tratamiento terciario: En algunas plantas de tratamiento avanzadas, se aplica un tratamiento terciario opcional. Esta etapa adicional está diseñada para abordar contaminantes específicos que no son eliminados completamente en las etapas anteriores, como nutrientes y microorganismos patógenos. El tratamiento terciario puede incluir tecnologías avanzadas como filtración por membranas, procesos químicos adicionales o tratamientos específicos según los requisitos de calidad del agua final y las normativas ambientales vigentes.

7. Desinfección: Una vez completados los tratamientos biológicos y químicos, el agua tratada debe ser desinfectada antes de su liberación o reutilización. La desinfección tiene como objetivo eliminar bacterias, virus y otros microorganismos patógenos que podrían representar un riesgo para la salud pública. Los métodos comunes de desinfección incluyen el uso de cloro, ozono o radiación ultravioleta, cada uno de los cuales asegura que el agua tratada cumpla con los estándares sanitarios establecidos antes de ser liberada en el medio ambiente o utilizada para otros fines.

8. Descarga y reutilización: Finalmente, el agua tratada se descarga de acuerdo con las regulaciones ambientales aplicables y las características del cuerpo receptor. Dependiendo de la calidad del agua tratada y las necesidades locales, el agua puede ser reutilizada para fines como el riego agrícola, usos industriales o recarga de acuíferos, contribuyendo así a la conservación de los recursos hídricos y promoviendo prácticas sostenibles. Alternativamente, si se cumple con los estándares de descarga establecidos, el agua tratada puede ser liberada en cuerpos de agua superficiales o marinos bajo condiciones controladas para minimizar cualquier impacto ambiental adverso.

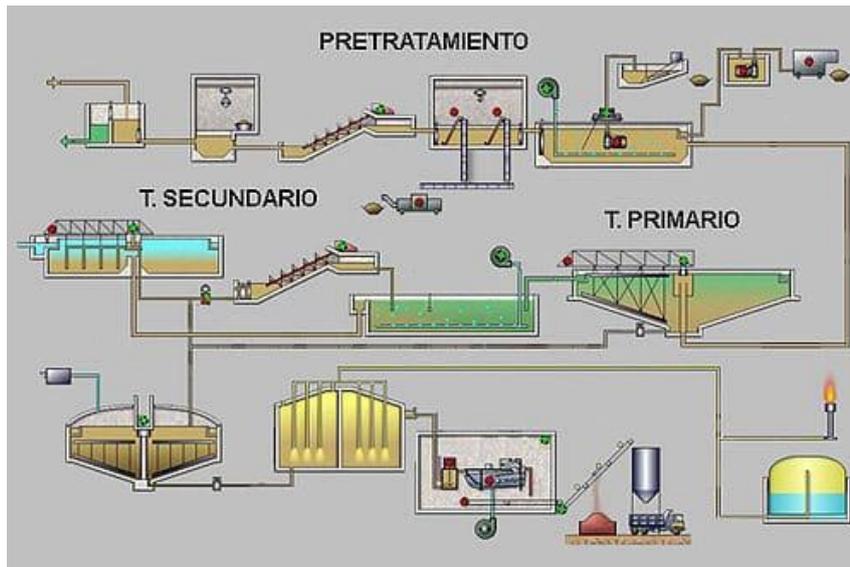


Ilustración 13. Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales

Al ser empresas que se van a analizar de un gran tamaño, prácticamente todas son punteras en ambos apartados, aunque se enfocan mayoritariamente en una parte concreta. Uno de los principales nexos comunes entre todas estas empresas es que la mayoría además de dedicarse a la distribución y recogida de agua, suelen trabajar también con la distribución de energía para hogares y empresas, ya sea aprovechando los recursos del agua o bien utilizando otros recursos alternativos. También todas las empresas tratan de mostrar una visión sostenible del negocio, mediante fundaciones, actos propagandísticos y programas ecologistas.

3.3. Empresas a analizar

Para este trabajo, se estudiarán las principales empresas del sector del agua a nivel mundial. Se realizará un análisis exhaustivo de aquellas compañías que se destacan por su volumen de agua procesada y por su resultado económico. Se incluirá a la empresa Canal de Isabel II como un punto de referencia nacional, ya que es la mayor empresa española en este sector, proporcionando así un marco comparativo valioso. Esta investigación se centrará en obtener una visión integral de los procesos y las eficiencias de las mayores compañías de agua del mundo, teniendo en cuenta tanto los aspectos económicos como de sostenibilidad. Estas empresas son:

1. AMERICAN WATER WORKS COMPANY

Fue fundada en 1886 y con sede en Nueva Jersey, American Water Works Company es la mayor empresa de servicios de abastecimiento de agua de Estados Unidos y la mayor que cotiza en bolsa en el sector del agua. Proporciona sus servicios en 14 estados de Estados Unidos y en Canadá. La empresa cuenta con aproximadamente 6.500 empleados que satisfacen las necesidades de 14.000.000 de usuarios y generan unos ingresos anuales de más de 4.000 millones de dólares.

En su mayoría, se encargan del abastecimiento de agua potable a domicilios de particulares, atendiendo cerca de 3 millones de residencias. Para ello, disponen de una red de más de 86,000 kilómetros de tuberías y 570 plantas de tratamiento de agua potable. En el apartado de las aguas residuales, cuentan con 64,000 kilómetros de tuberías y 175 plantas de tratamiento. Además, tienen un notable peso en el sector empresarial, con más de 250 mil clientes profesionales, incluyendo empresas importantes como las de extinción de incendios.

Los valores e ideales de la empresa se basan en la seguridad, con objetivos como el cero accidentes, la excelencia operacional, el bienestar de sus partes interesadas y la inversión en infraestructura, formación y ciberseguridad. Se rigen por los criterios ESG (Environmental, Social and Governance), que son los indicadores que utilizan los inversores para valorar los factores ambientales, sociales y directivos de la empresa. En el factor ambiental, destacan sus programas de calidad del agua. En el apartado social, dan gran importancia a la inclusión social, especialmente a la diversidad racial y étnica, además de disminuir la brecha de género instaurando una cultura de inclusión.

Por último, en el apartado de gobierno, disponen de módulos de capacitación en códigos éticos para aspirar a los puestos de dirección. Entre sus proyectos medioambientales más destacados se encuentra la mayor planta solar acuática de Nueva Jersey, que busca reducir los gastos energéticos de su planta en Canoe Brook, proporcionándole el 95% de la energía anual necesaria. También trabajan en el desarrollo de centros de operaciones militares energéticamente autosuficientes, reflejando su compromiso con la sostenibilidad y la innovación en sus operaciones.

2. VEOLIA ENVIRONEMENT

Veolia Environnement es una multinacional francesa fundada en 1853 que tiene presencia en los cinco continentes y trabaja en tres áreas principales de servicios: gestión del agua, gestión de residuos y servicios energéticos. En el ámbito del agua, Veolia no solo se encarga de la gestión de recursos, producción y abastecimiento de agua potable y agua para procesos industriales, así como de la recogida, tratamiento y reutilización de aguas residuales, sino que también diseña y construye infraestructuras de tratamiento. Además, desarrollan diversos proyectos para encontrar soluciones creativas en todas las etapas del ciclo del agua, abordando desafíos complejos con innovación y eficiencia.

En 2022, Veolia empleó cerca de 220.000 personas y operó 7.636 plantas de producción de agua potable y tratamiento de aguas residuales, atendiendo a más de 100.000.000 de usuarios en todo el mundo. La empresa también sigue los criterios ESG para garantizar la excelencia en todos los procesos que gestionan. En el año 2022, Veolia logró reducir sus emisiones de CO₂ en 14.000.000 de toneladas, demostrando un fuerte compromiso medioambiental y una mentalidad sostenible.

En el sector de los residuos, Veolia tiene más de 500.000 de clientes y trata aproximadamente 60.000.000 de toneladas de residuos al año. Esto incluye la recolección, procesamiento, reciclaje y disposición final de residuos, siempre con un enfoque en la minimización del impacto ambiental y la maximización de la recuperación de materiales.

En el sector energético, Veolia produce alrededor de 120.000 de megavatios hora al día. La empresa gestiona más de 46,000 instalaciones térmicas y 680 redes de calefacción y refrigeración, ofreciendo soluciones energéticas integrales que incluyen la generación, distribución y gestión eficiente de la energía. Estas actividades no solo abarcan la producción de energía, sino también la búsqueda de soluciones innovadoras que aumenten su rendimiento energético.

Veolia se destaca por tener un enfoque integral y multidisciplinar, abordando de manera creativa los retos ambientales que se le van planteando. Su capacidad para innovar y adaptarse a diferentes situaciones le permite ser un líder en todos los sectores en los que se desenvuelve, proporcionando servicios esenciales que contribuyen al desarrollo sostenible de las comunidades a las que sirve.

Hay que aclarar que la empresa “VEOLIA ENVIRONEMENT” proporciona los datos de la empresa en general en sus informes de sostenibilidad y diferentes páginas web, por lo que todos sus datos serán multiplicados por un factor 0,26, que es el valor del negocio que aporta el agua a el conjunto total de la empresa.

3. XYLEM

Xylem es una destacada empresa americana fundada en 2011 que está enfocada en proporcionar soluciones innovadoras para el sector del agua, abarcando tanto el abastecimiento como el tratamiento de aguas residuales, además del sector energético. Con una presencia en más de 150 países y un equipo de aproximadamente 17.000 empleados, Xylem es considerada una de las principales empresas globales en su campo. La empresa se distingue por la aplicación de soluciones avanzadas que abarcan desde la recogida y abastecimiento del agua hasta el tratamiento, saneamiento y devolución del agua al medio ambiente.

La filosofía de Xylem se basa en tres pilares fundamentales, conocidos como las tres C's: Customers (Clientes), Company (Compañía) y Community (Comunidad).

Para sus clientes (Customers), Xylem se compromete a ofrecer servicios asequibles y de alta calidad mediante el uso de tecnología punta para la optimización de procesos de gestión del agua. Además de los servicios tradicionales de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales, la empresa lleva a cabo proyectos de innovación destinados a prevenir la contaminación, proteger contra inundaciones y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático.

En lo que respecta a la compañía (Company), Xylem se esfuerza por ser una organización sostenible, social y rentable. Esto se demuestra mediante la reducción de su propia huella de carbono, mejoras en la seguridad y bienestar de sus empleados, y promoviendo una cultura de diversidad, igualdad e inclusión. La empresa invierte continuamente en mejorar la calidad de su infraestructura y ofrecer un ambiente de trabajo seguro y acogedor para todos sus colaboradores.

Finalmente, en su compromiso con la comunidad (Community), Xylem reconoce la crítica situación actual respecto al acceso al agua potable y trabaja activamente para aumentar el número de personas que puedan acceder a agua, mediante gran cantidad de proyectos a nivel global.

Entre los proyectos destacados de Xylem se encuentran la recogida y tratamiento de agua de lluvia en el aeropuerto de Sydney, Australia, y un túnel inteligente para desviar las inundaciones en Kuala Lumpur, Malasia. Estos proyectos no solo muestran la capacidad de la empresa para enfrentarse a desafíos actuales, sino que también contribuyen significativamente a sus ingresos anuales, actualmente unos 3,700 millones de euros. A través de su enfoque integral y sus valores fundamentales, Xylem continúa desempeñando un papel crucial en la gestión sostenible del agua y en la creación de soluciones que beneficien tanto a sus clientes como al medio ambiente.

4. SUEZ S.A

Suez es un grupo francés formado por la fusión de Lyonnaise des Eaux y la Compagnie Universelle du canal maritime de Suez, fue fundado en 1858, Suez ha evolucionado hasta convertirse en una de las empresas más influyentes y respetadas en su sector. En lo que

respecta al agua, Suez abastece de agua potable para 68 millones de personas en más de 40 países, y otros 37 millones de personas se benefician de sus labores de recolección, tratamiento y reutilización de aguas residuales. Tienen más de 40,000 empleados en todo el mundo y generan ingresos superiores a los 9.000.000 euros anuales, abarcando todo el proceso de ciclo de vida del agua. La empresa combina su extensa presencia en los mercados tradicionales con su creatividad y desarrollo en mercados emergentes, lo que le permite posicionarse como una empresa competitiva y adaptable a los cambios del mundo contemporáneo. Su enfoque estratégico busca crear valor a través de la selección cuidadosa de proyectos, la gestión de riesgos y la utilización de tecnología y servicios avanzados como motores de competitividad.

La empresa tiene como pilares un fuerte compromiso con la sostenibilidad, la innovación, el trato excepcional con los clientes y una inversión constante en infraestructura. Suez se enorgullece de su habilidad para desarrollar soluciones innovadoras que enfrentan los desafíos ambientales y sociales actuales enfocados a la sostenibilidad y el uso eficiente de recursos.

Un ejemplo destacado de sus proyectos es una aplicación en Francia que informa a los ciudadanos sobre la calidad, composición y precio del agua de manera gratuita. Además, la aplicación proporciona datos de interés, como la ubicación de fuentes públicas cercanas, fomentando una mayor transparencia y un mejor acceso a la información sobre el agua. La dedicación de Suez a la sostenibilidad y la innovación, combinada con su sólida experiencia y enfoque centrado en el cliente, asegura que continúe siendo un líder en el sector del agua y el tratamiento de residuos. La empresa no solo busca mantener su posición en el mercado, sino también contribuir activamente a la creación de un futuro más sostenible y equitativo para las comunidades a las que sirve.

5. ESSENTIAL UTILITIES INC.

Essential Utilities (anteriormente conocida como Aqua America) es una empresa estadounidense con más de 135 años de historia, dedicada al servicio de abastecimiento de agua, saneamiento, tratamiento de aguas residuales y suministro de gas natural para los ciudadanos americanos. La empresa tiene presencia en ocho estados (Texas, Nueva Jersey, Pensilvania, Ohio, Indiana, Illinois, Virginia y Carolina del Norte), proporcionando servicios a 5.5 millones de habitantes. Con más de 3000 empleados y beneficios que superaron los mil millones de dólares en 2021, Essential Utilities ha decidido apostar fuertemente por la Responsabilidad Social Corporativa (RSC) e invertir en energía solar. La misión de la empresa es "Mantener la vida y mejorar la prosperidad económica mediante el abastecimiento seguro y fiable de los recursos más esenciales de la tierra a nuestros clientes y comunidades". Tras más de 135 años, Essential Utilities continúa buscando e innovando en las mejores tecnologías y técnicas para tratamientos de agua que cumplan con los más altos estándares de calidad a nivel local, regional y nacional (Environmental Protection Agency). La empresa se basa en tres principios fundamentales: el medioambiental, el social y el de gobierno.

En cuanto al principio medioambiental, Essential Utilities tiene objetivos operativos y estratégicos para mejorar su entorno. Estos incluyen el estudio de contaminantes emergentes en el agua potable, la reducción de pérdidas de agua, el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la empresa se adapta de manera sostenible a toda la regulación existente en el tratamiento del agua, tanto potable como residual.

En el apartado social, Essential Utilities divide sus esfuerzos en tres subapartados:

empleados, clientes y comunidad. Para los empleados, la empresa dispone de objetivos para mantener un alto nivel de calidad, haciéndolos sentir parte integral del proyecto mediante formación, desarrollo profesional, beneficios y compensaciones. La gestión del capital humano se basa en el respeto, la integridad y la excelencia. En cuanto a los clientes, la empresa busca ofrecer una experiencia y un trato personalizado, proporcionando un servicio accesible y asequible para todos. En el ámbito comunitario, Essential Utilities se involucra en proyectos de voluntariado y labores sociales, recaudando 3.9 millones de dólares en 2022 y apoyando a más de 400 ONG en el país.

En el apartado de gobierno, Essential Utilities se compromete a mostrar una actitud proactiva, transparente y justa hacia sus clientes, trabajadores y demás partes interesadas. Su enfoque se basa en principios éticos y los criterios ESG, con códigos de conducta bien definidos y un gran respeto por la política de privacidad de datos de sus clientes.

En resumen, Essential Utilities no solo se enfoca en proveer servicios esenciales de agua y gas, sino que también se esfuerza por ser un líder en sostenibilidad, responsabilidad social y buen gobierno corporativo, lo que la convierte en una empresa integralmente comprometida con el bienestar de sus clientes, empleados y la comunidad en general.

6. SEVERN TRENT

Severn Trent es una destacada empresa británica dedicada al tratamiento, gestión y abastecimiento de agua. Con una capacidad de abastecimiento anual de aproximadamente 200.000.000 metros cúbicos y el tratamiento de más de 320 millones de metros cúbicos al año, la empresa se consolida como una de las mayores dentro del sector. Severn Trent cuenta con 7.650 empleados y genera ingresos superiores a los 2.500 millones de euros. La empresa se destaca por su visión global de sostenibilidad y su impacto positivo en la sociedad, apoyada por diversas fundaciones y programas ecológicos. Una de las características más notables de Severn Trent es que ofrece uno de los servicios de agua más asequibles en el Reino Unido, con un costo aproximado de una libra al día para los usuarios. A pesar de estos precios, la empresa ha planificado una inversión de 6.000 millones de libras entre 2020 y 2025, destinada a mejorar tuberías, reservas y procesos. Severn Trent se fundamenta en tres principios clave que guían sus objetivos.

Primero, la empresa se esfuerza por ser una compañía en la que confiar, enfocándose en equilibrar los intereses de todas las stakeholders, cumplir con los objetivos a largo plazo de la empresa, incorporar sus valores día a día y mantener una transparencia total sobre sus actividades y conocimientos. Esta confianza se construye no solo a través de la calidad del servicio que ofrecen, sino también a través de la transparencia y la ética en su gestión, asegurando que todas las partes interesadas comprendan y confíen en las decisiones y operaciones de la empresa.

En segundo lugar, Severn Trent se dedica a cuidar del medio ambiente. La empresa se compromete a la preservación del entorno natural, enfrentando y adaptándose al cambio climático, asegurando un ciclo de vida del agua sostenible y aprovechando los recursos de forma eficiente. Este compromiso se manifiesta en varias iniciativas medioambientales, como la generación de energía a través de turbinas eólicas, paneles solares y otras propuestas. Además, la empresa lleva a cabo acciones como la plantación de 1.300.000 árboles y la creación de praderas, así como la restauración de pantanos y turberas. Estas iniciativas no solo contribuyen a la lucha contra el cambio climático, sino que también protegen las reservas de agua.

En tercer lugar, Severn Trent busca ayudar a las personas a prosperar, marcar la diferencia en la comunidad, mediante servicios de alta calidad a precios asequibles,

invirtiendo en la formación y captación de grandes profesionales y creando un entorno de trabajo positivo. Este compromiso social se refleja en su esfuerzo por ofrecer un servicio accesible a todos los segmentos de la población, así como en la inversión en el desarrollo profesional y personal de sus empleados. La empresa promueve una cultura de diversidad, igualdad e inclusión, asegurando que todos los empleados se sientan valorados y una parte del equipo.

En resumen, Severn Trent no solo se dedica al suministro y tratamiento del agua, sino que también se compromete profundamente con la sostenibilidad, la transparencia y la mejora de la calidad de vida de las comunidades a las que sirve. La empresa se esfuerza por mantener altos estándares en todas sus operaciones, garantizando un servicio de calidad mientras protege el medio ambiente y apoya a la comunidad. Este enfoque integral asegura que Severn Trent siga siendo un líder en el sector del agua, comprometido con un futuro sostenible y equitativo para todos.

7. UNITED UTILITIES

United Utilities es una de las principales empresas británicas del sector del agua, operando principalmente en el noroeste de Inglaterra. La empresa proporciona servicios a más de 3.000.000 de hogares y 200.000 empresas, abasteciendo anualmente unos 180.000 millones de litros. Además, juega un papel crucial en la depuración de aguas residuales, mediante una extensa red de 14.500 kilómetros de tuberías para aguas contaminadas.

La empresa se destaca por su fuerte compromiso social y local, especialmente hacia los miembros más vulnerables de la comunidad. A través de inversiones estratégicas y facilitando el desarrollo económico regional, United Utilities no solo cumple con su responsabilidad corporativa, sino que también apoya activamente la economía local. Para prepararse ante situaciones excepcionales como la sequía, la empresa ha implementado planes de gestión de recursos hídricos robustos, asegurando que pueda mantener la excelencia en el servicio incluso en circunstancias adversas. Esto subraya su enfoque hacia la sostenibilidad y la resiliencia operativa a largo plazo. En términos de visión futura, United Utilities se enfoca en varios puntos clave. Primero, está el cuidado de los ríos, donde la empresa realiza inversiones continuas para proteger las fuentes naturales y reducir la contaminación, especialmente importante debido a las intensas lluvias y la actividad industrial en la región.

Asimismo, la empresa se compromete con la creación de un futuro sostenible mediante programas de cero emisiones y proyectos para generar energía limpia. Esto incluye esfuerzos para reducir el consumo de agua y aumentar la capacidad de generación de energías renovables, contribuyendo así a la biodiversidad y al medio ambiente natural. En cuanto al ambiente laboral, United Utilities se esfuerza por ofrecer un entorno seguro, emocionante y enriquecedor para sus empleados. A través de programas de formación y desarrollo, así como altos estándares de salud, seguridad y bienestar, la empresa busca atraer, desarrollar y retener talentos clave, promoviendo una cultura inclusiva y diversa que motive a su equipo a alcanzar la excelencia diariamente. El compromiso de United Utilities con sus clientes se enfoca en ofrecer un servicio excelente, mejorando continuamente los procesos operativos en todos los niveles. Esto incluye mejoras en la calidad del agua, minimización de interrupciones y cortes de servicio, prevención de inundaciones y problemas de alcantarillado, así como un soporte especial a los clientes más vulnerables. La empresa mantiene un contacto constante con sus clientes para escuchar sus sugerencias y priorizar mejoras que beneficien directamente a los consumidores.

En términos de gestión financiera, United Utilities maneja con cuidado los recursos financieros de sus clientes. La empresa busca mejorar la eficiencia de costos en todos los procesos organizativos, reduciendo las facturas de los clientes sin comprometer la calidad del servicio. Esto se logra a través de inversiones estratégicas en infraestructura, oportunidades de digitalización y automatización, optimización de la cadena de suministro y eliminación de áreas de desperdicio y duplicación.

Finalmente, United Utilities contribuye activamente al desarrollo de la comunidad, designando gerentes regionales dedicados para cada uno de los cinco condados en los que opera. Estos gerentes aseguran visibilidad y confianza local, facilitando la implementación de proyectos de mejora comunitaria con la mínima interrupción posible.

8. CANAL DE ISABEL II

El Canal de Isabel II es una destacada empresa pública española con sede en Madrid que está especializada en el abastecimiento de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. La empresa abastece a más de 6.500.000 habitantes y gestiona un volumen impresionante de 6.740 millones de metros cúbicos en el tratamiento de aguas residuales. Más allá de su función básica, el Canal de Isabel II se distingue por su compromiso con la transparencia y los sólidos valores de sostenibilidad. La plantilla de la empresa supera los 3.000 empleados y genera ingresos cercanos a los 1.000 millones de euros. Su red de tuberías alcanza más de 17.000 kilómetros para abastecimiento de agua potable y más de 15.000 kilómetros para recolección, tratamiento y depuración de aguas residuales. No solo se limita a transportar grandes volúmenes de agua, sino que también ha integrado prácticas innovadoras como el uso de depuradoras (biofactorías). Estas instalaciones no solo tratan aguas residuales, sino que también convierten el biogás en energía y combustible, practican tratamientos a los lodos para su uso como fertilizantes y recuperan fósforo mediante otros procesos.

Guiado por principios de sostenibilidad, compromiso, excelencia, cercanía y transparencia, el Canal de Isabel II afronta desafíos clave en innovación y sostenibilidad. Su misión se articula en diez compromisos clave, que incluyen ser el motor económico y de desarrollo de la Comunidad de Madrid, liderar avances en el sector y fortalecer la economía circular y la eficiencia. Además, se comprometen a mantener altos estándares de calidad y continuidad en el servicio, garantizar tarifas adecuadas, y promover la transformación digital para una gestión más eficaz. Además de su enfoque en el agua, el Canal de Isabel II es líder en generación de energía eléctrica en Madrid, con una potencia instalada de 109.000.000 kilovatios. En 2021, la empresa produjo 470.000.000 Kilovatios hora, equivalente al 87% de su consumo total, utilizando una combinación de recursos hídricos y otras fuentes renovables. Este enfoque integral hacia la gestión sostenible del agua y la energía refleja el compromiso continuo del Canal de Isabel II con la comunidad de Madrid y el medio ambiente.

3.4. Datos de las empresas

Una vez conocidas las empresas con las que se va a realizar el caso práctico, hay que comprender los datos que se van a utilizar de cada empresa. Para ello, se han seleccionado una serie de datos comunes a todas ellas, extraídas de sus informes de sostenibilidad o de su página web. Al no haber encontrado algunos datos, se han establecido mediante unas medias entre los diferentes criterios y datos de años anteriores. Estos datos son:

- Número de usuarios abastecidos (Unidad): Este será el dato más general de todos los estudiados, ya que puede relacionarse tanto con el aspecto económico como ambiental y ejemplifica de manera general las dimensiones trabajadas de la empresa. No se ha conseguido encontrar el número por separado de usuarios como empresas y cuáles como domicilios particulares, por lo que se tratarán como usuarios generales suponiendo que el ratio clientes particulares/empresas es similar entre todas ellas. En una empresa dedicada a ofrecer un servicio, es crucial tener constancia del número de usuarios a los que se va a satisfacer. En la tabla 1 (véase tabla 1), se puede observar cómo hay una desviación bastante elevada, dónde SUEZ S.A tiene el mayor número de usuarios con 99.000.000, y ESSENTIAL UTILITIES el menor, con 5.500.000. Es de suponer, que el resto de los datos serán acordes a la diferencia que hay entre el máximo y el mínimo. Gráficamente se observa la gran diferencia entre SUEZ S.A y el resto de empresas. (Véase ilustración 1)

EMPRESAS	AMERICAN WATER WORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZ S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
NÚMERO DE USUARIOS	14.000.000	28.860.000	17.800.000	99.000.000	5.500.000	8.000.000	7.000.000	6.530.000
MAXIMO	99.000.000							
MINIMO	5.500.000							
MEDIA	11.000.000							
DESVIACIÓN TÍPICA	31.568.488							

Tabla 1: Número de Usuarios

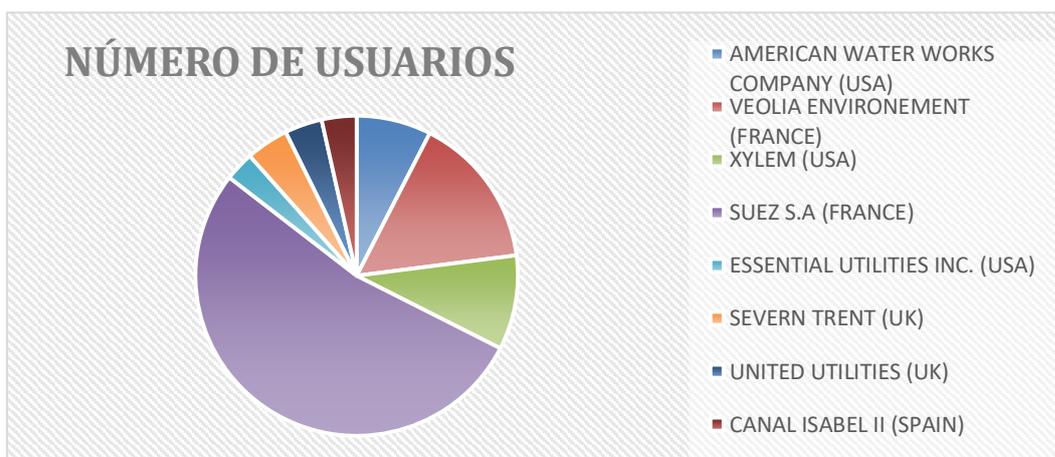


Ilustración 14. Número de usuarios

- Volumen de agua abastecida ($M^3/Año$): Es uno de los dos criterios principales a niveles volumétricos de agua de estas empresas, el proceso que sigue este ha sido explicado previamente, y es de los criterios de los que dependerán de que la empresa funcione correctamente. Las empresas dedicadas al abastecimiento de agua potable deben manejar el dato del volumen en todo momento ya que es su recurso principal, y deben de controlar esa cantidad para no dejar sin abastecer a ningún cliente. En la tabla 2 (véase tabla 2) se puede observar que hay una gran variación entre el máximo y el mínimo además de la desviación típica tan elevada, lo que concuerda con el dato anterior en el que se observaba una gran diferencia de usuarios. Para amplia diferencia de usuarios, debe haber amplias diferencias en volúmenes de agua. Como en el caso de los usuarios, SUEZ S.A tiene la mayor cantidad de metros cúbicos anuales de todas las empresas (véase gráfico 2).

EMPRESAS	AMERICAN WATER WORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZ.S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
VOLUMEN AGUA ABASTECIDA	1.282.554.000	1.768.000.000	1.000.000.000	4.420.000.000	328.823.000	200.000.000	180.000.000	493.500.000
MAXIMO	4.420.000.000							
MINIMO	180.000.000							
MEDIA	746.750.000							
DESMIACIÓN TIPICA	1.416.013.867							

Tabla 2: Volumen de Agua Abastecida

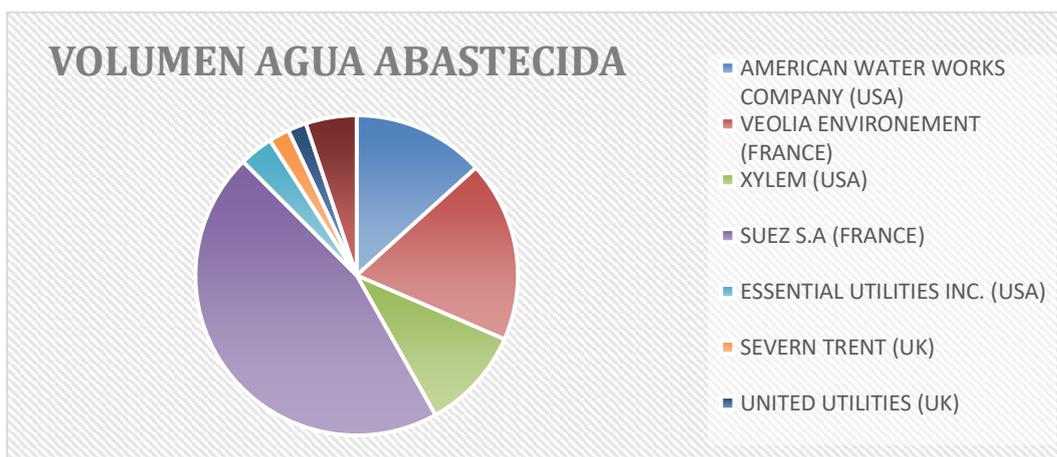


Ilustración 15. Volumen de Agua Abastecida

- Volumen de agua depurada ($M^3/Año$): Es el otro criterio volumétrico y tendrá un gran peso en los indicadores de eficacia a nivel ambiental. El proceso también ha sido explicado anteriormente, y es otra de las variables para que la empresa funcione ya que es parte de las operaciones principales que desempeña. En esta tabla (véase tabla 3) es importante destacar que no todas las empresas del estudio se dedican íntegramente a ambas disciplinas, el abastecimiento y la depuración, como es el caso de la empresa SUEZ S.A que ve reducido su dato de agua depurada al 2.200.000 metros cúbicos anuales por no dedicarse a ello en la misma cantidad que al abastecimiento. Gráficamente se observa como 3 empresas ocupan la mayor parte del global de agua depurada. (véase ilustración 3)

EMPRESAS	AMERICAN WATER WORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZ.S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
VOLUMEN AGUA DEPURADA	1.120.000.000	1.352.000.000	1.300.000.000	2.220.000	414.595.300	320.000.000	299.000.000	481.440.000
MAXIMO	1.352.000.000							
MINIMO	2.220.000							
MEDIA	448.017.650							
DESMIACIÓN TIPICA	516.963.105							

Tabla 3: Volumen de Agua Depurada

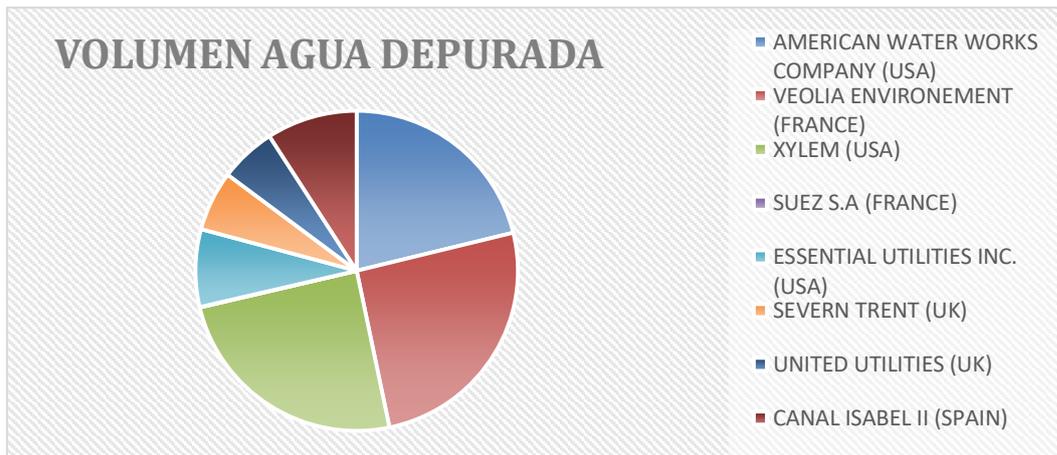


Ilustración 16. Volumen de Agua Depurada

- Longitud red de abastecimiento (Kilómetros): Este dato, claramente relacionado con el volumen de agua abastecida, permitirá calcular la eficiencia de ese volumen y comparar si se utilizan de manera adecuada o no se obtiene todo el rendimiento que podrían tener. El uso de la infraestructura adquiere importancia en grandes superficies por consumo de materiales y necesidades a cubrir, por lo cual, es crucial tener controladas las dimensiones de la red de tuberías para poder ofrecer un buen rendimiento en la operativa de la empresa. Entre las diferentes empresas hay variedad, como indica la desviación típica de 71.800 kilómetros, pero este dato depende mucho de la superficie que cubran, no necesariamente tiene porque estar relacionado con el volumen de agua o el número de usuarios. (véase ilustración 4).

EMPRESAS	AMERICAN WATERWORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZ S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
KM RED ABASTECIMIENTO	86.100	225.000	80.000	150.000	50.500	50.200	12.000	17.814
MAXIMO	225.000							
MINIMO	12.000							
MEDIA	65.250							
DESMIACIÓN TIPICA	71.800							

Tabla 4: Km Red Abastecimiento



Ilustración 17. Km Red Abastecimiento

- Longitud de red de aguas residuales (Kilómetros): Este dato, claramente relacionado con el volumen de agua tratada, permitirá calcular la eficiencia de ese volumen y comparar si se utilizan de manera adecuada o no se obtiene todo el rendimiento que podrían tener. Al igual que el dato anterior, la longitud de la red de depuración variará según el terreno que tenga que cubrir, en casos de baja densidad poblacional, este valor será mayor pese a tener un volumen de agua menor. En ambos casos, VEOLIA ENVIRONEMENT es la que mayor longitud de tuberías tiene tanto en abastecimiento (225.000 kilómetros) como en depuración (200.000 kilómetros), aún sin tener el mayor número de usuarios. (Véase ilustración 5).

EMPRESAS	AMERICAN WATERWORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZSA (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
KM RED DEPURACION	64.000	200.000	95.000	128.000	60.000	92.900	14.520	15.865
MAXIMO	200.000							
MINIMO	14.520							
MEDIA	78.450							
DESMIACION TIPICA	60.989							

Tabla 5: Km Red Depuración

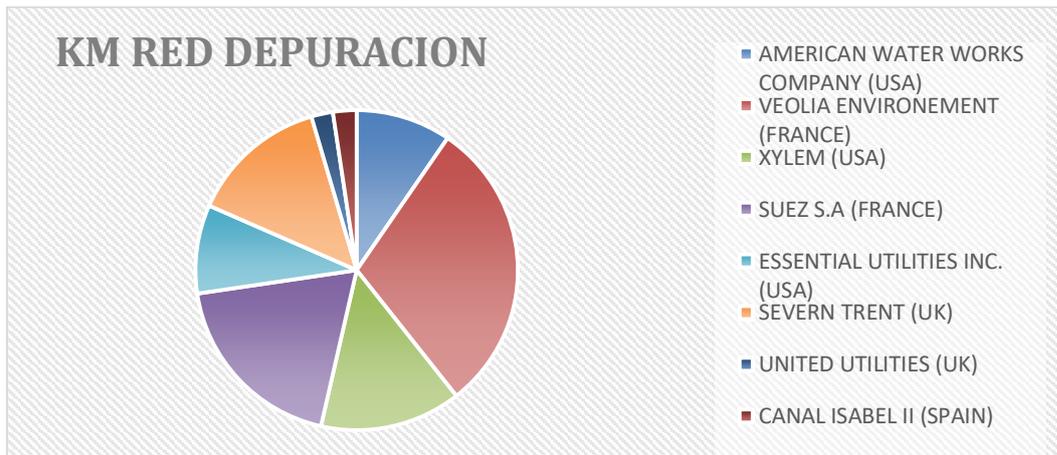


Ilustración 18. Km Red de Distribución

- Número de empleados (Unidades): Es como el número de usuarios, permite calcular el volumen de trabajo de la empresa y puede relacionarse tanto el aspecto económico como ambiental. Es un dato interesante para calcular el rendimiento del trabajo, por ejemplo, del total de kilómetro de tubería por operario, o bien, ingresos por empleado, son datos que permiten obtener ratios sencillos y efectivos para obtener una visión concreta de la operativa de la empresa. En este caso, la que más kilómetros de tubería tiene, es también la que más empleados tiene, VEOLIA ENVIRONEMENT con 57.200 empleados. (Véase ilustración 6).

EMPRESAS	AMERICAN WATER WORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZ.S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
Nº EMPLEADOS	6.500	57.200	17.000	40.000	3.200	7.651	1.800	3.052
MAXIMO	57.200							
MINIMO	1.800							
MEDIA	7.076							
DESVIACIÓN TÍPICA	20.559							

Tabla 6: Número de Empleados

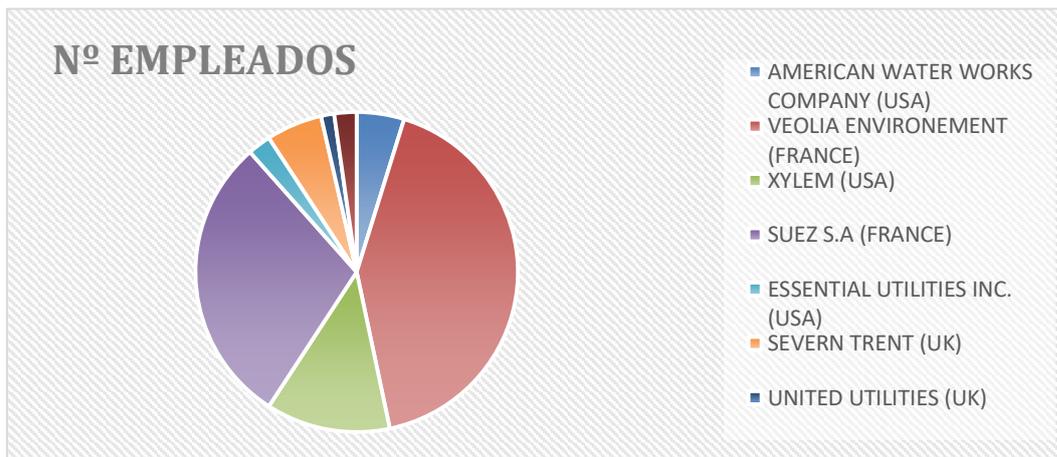


Ilustración 19. Número de empleados

- Ingresos (Euros/Año): Es el valor económico principal que todas las empresas deben de controlar. El objetivo principal de todas las empresas es maximizar su beneficio, y aumentar los ingresos es una de las formas de alcanzar ese objetivo, el otro sería reducir los gastos. Este dato puede parecer inicialmente independiente a los demás criterios, pero es necesario para controlar a nivel absoluto el volumen de negocio de la empresa. Es el foco central de toda empresa, generar más ingresos es tarea de todos los miembros de la compañía, y SUEZ S.A es la que mayores ingresos obtiene con 9.000.000.000 de euros anuales (Véase ilustración 7). Existe gran desviación entre estas, pero es posible mediante una buena gestión, alcanzar un beneficio similar, o al menos, ser más eficiente con los recursos económicos,

EMPRESAS	AMERICAN WATER WORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM(USA)	SUEZ.S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
INGRESOS	3.792.000.000	2.900.040.000	3.700.000.000	9.000.000.000	2.288.032.000	2.500.000.000	2.019.248.852	996.600.000
MAXIMO	9.000.000.000							
MINIMO	996.600.000							
MEDIA	2.700.020.000							
DESVIACIÓN TÍPICA	2.437.296.513							

Tabla 7: Ingresos

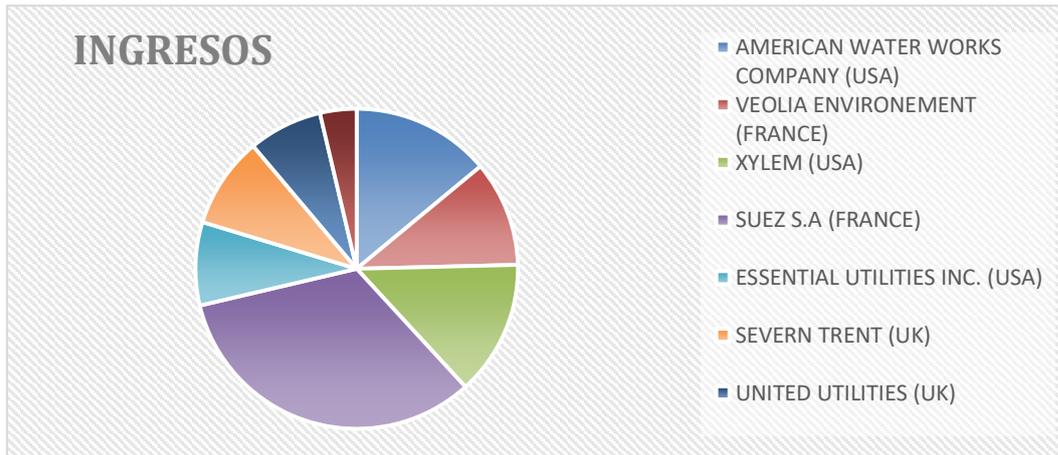


Ilustración 20. Ingresos

- EBITDA (Euros/Año): Es un indicador financiero que significa “Beneficios Antes de Intereses e Impuestos”, e indica el valor del beneficio bruto antes de añadirle los costes financieros. Es la medida general más adecuada para este problema, ya que, al ser empresas de todo el planeta, esos intereses e impuestos serán diferentes para cada país, por lo tanto, para cada empresa. Es crucial para todas las empresas conocer su EBITDA, ya que es el indicador real de los resultados del año. Se puede observar que SEVERN TRENT y CANAL ISABEL II están por debajo de la media, habrá que analizar si con un beneficio menor, son competitivos a la hora de saber gestionar sus recursos de manera eficiente. (Véase ilustración 8).

EMPRESAS	AMERICAN WATERWORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZSA (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
EBITDA	1.273.000.000	1.612.000.000	249.000.000	3.597.000.000	1.010.000.000	592.000.000	1.383.000.000	312.600.000
MAXIMO	3.597.000.000							
MINIMO	249.000.000							
MEDIA	1.141.500.000							
DESVIACIÓN TIPICA	1.070.971.022							

Tabla 8: EBITDA

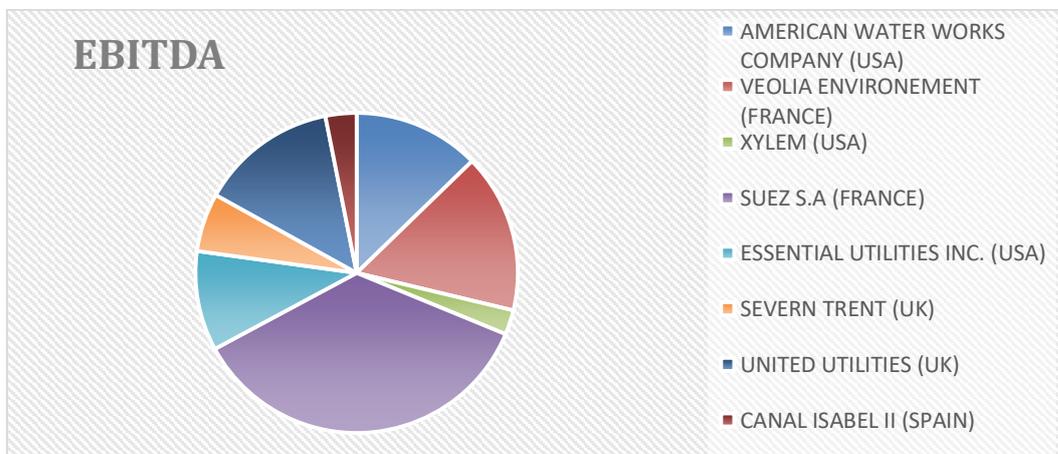


Ilustración 21. EBITDA

- GASTOS (Euros/Año); Por último, uno de los aspectos cruciales que no proporciona de manera directa ninguna de las empresas es el gasto total por servicios de agua, y este dato es muy importante para hacerse una idea de la inversión que hacen las empresas para proporcionar un servicio adecuado, aun así, se puede obtener de manera sencilla mediante la siguiente fórmula:

$$GASTOS = INGRESOS - EBITDA$$

Por lo que se obtiene el siguiente dato para las empresas:

EMPRESAS	AMERICAN WATER WORKS COMPANY (USA)	VEOLIA ENVIRONNEMENT (FRANCE)	XYLEM (USA)	SUEZ S.A (FRANCE)	ESSENTIAL UTILITIES INC. (USA)	SEVERN TRENT (UK)	UNITED UTILITIES (UK)	CANAL ISABEL II (SPAIN)
GASTOS	2.519.000.000	1.288.040.000	3.451.000.000	5.403.000.000	1.278.032.000	1.908.000.000	636.248.852	684.000.000
MAXIMO	5.403.000.000							
MINIMO	636.248.852							
MEDIA	1.598.020.000							
DESVIACIÓN TIPICA	1.621.864.152							

Tabla 9: Gastos

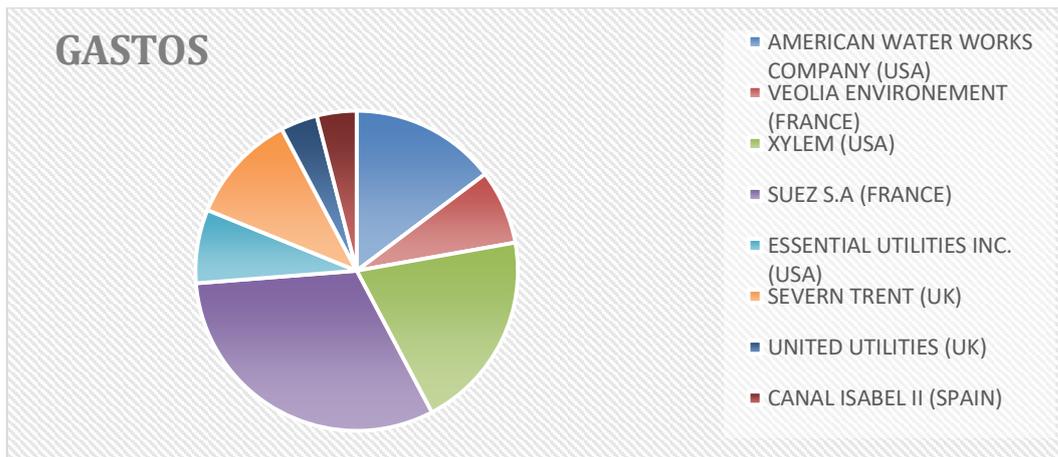


Ilustración 22. Gastos

Se observa cómo los 3 datos están relacionados entre sí, definiendo una proporción entre los diferentes datos estudiados. SUEZ S.A era la empresa con mayores ingresos, pero también es la que acumula mayores gastos. Habría que analizar de donde provienen estos gastos, si es por el elevado volumen de operación (empresa con mayor volumen de agua abastecida), o se trata de una inadecuada gestión de los recursos.

	Nº USUARIOS	VOL. AGUA ABASTECIDA	VOL. AGUA DEPURADA	KM/RED ABAST	KM/RED DEPURADA	Nº EMPLEADOS	INGRESOS	EBITDA	GASTO
AMMC	14.000.000	1.282.554.000	1.120.000.000	86.100	64.000	6.500	3.792.000.000	1.273.000.000	2.519.000.000
VEOLA	28.860.000	1.768.000.000	1.352.000.000	225.000	200.000	57.200	2.900.040.000	1.612.000.000	1.288.040.000
XLEM	17.800.000	1.000.000.000	1.300.000.000	80.000	95.000	17.000	3.700.000.000	249.000.000	3.451.000.000
SUEZ	99.000.000	4.420.000.000	2.220.000	150.000	128.000	40.000	9.000.000.000	3.597.000.000	5.403.000.000
ESSENTIAL UT	5.500.000	328.823.000	414.595.300	50.500	60.000	3.200	2.288.032.000	1.010.000.000	1.278.032.000
SEVERN TRENT	8.000.000	200.000.000	320.000.000	50.200	92.900	7.651	2.500.000.000	592.000.000	1.908.000.000
UNITED UT	7.000.000	180.000.000	299.000.000	12.000	14.520	1.800	2.019.248.852	1.383.000.000	636.248.852
C. ISABEL II	6.530.000	493.500.000	481.440.000	17.814	15.865	3.052	996.600.000	312.600.000	684.000.000

Tabla 10: Datos de la empresas

4. Análisis de empresas

Una vez recogidos todos los datos de las empresas de sus diferentes páginas web, informes de sostenibilidad y demás documentos oficiales, se proceden a combinar entre ellos buscando ratios que permitan calcular con mayor precisión los análisis de eficiencia. Se buscan datos que interrelacionen los aspectos ambientales con los económicos, además de criterios independientes para cada tipo de modelo.

A diferencia de otros modelos de envoltura de datos, en este problema, según el modelo elegido, el mismo dato podrá utilizarse como entrada o como salida, dependiendo de la utilidad para el problema. Se tratará de enfocar el problema a la orientación de salida para que se busque mejorar las salidas sin necesidad de invertir recursos adicionales, aunque se estudiarán la orientación de entrada y la no dirigida, por si aparece algún modelo que mejore notablemente lo existente.

4.1. Ratios

Para comenzar a analizar las empresas y poder jerarquizarlas de manera sencilla se procede a utilizar ratios, estos ratios no son más que combinaciones de datos relacionados que permiten obtener un criterio comparativo entre las diferentes empresas en función a un dato común de interés. Dichos ratios estarán alineados a los objetivos del problema por lo que podrán ser de tres tipos distintos: Económicos, Ambientales/sociales y mixtos (ambientales y económicos).

1. El primero de estos ratios se denomina **Ratio de Eficiencia Operativa** y está dividido en un aspecto natural y en otro puramente social. El primero de estos ratios calcula la razón de usuarios por trabajador. Esto permite obtener la cantidad de trabajadores que son necesarios para satisfacer la demanda solicitada por un número concreto de clientes en cada empresa. Este criterio es claramente de tipo social, aunque tiene consecuencias en el ámbito económico, ya que tener un alto número de trabajadores para un número reducido de clientes provocará un bajo nivel de eficiencia en este parámetro.

$$RATIO DE EFICIENCIA OPERATIVA(Social) = \frac{N^{\circ} \text{ de usuarios}}{N^{\circ} \text{ de trabajadores}}$$

De aplicar este cálculo se obtienen los siguientes resultados.

RATIO DE EFICIENCIA OPERATIVA	USUARIOS	TRABAJADORES	Usuarios/Trabajadores
American Water Works Company	14.000.000	6.500	2153,85
Veolia Environnement	28.860.000	57.200	504,55
Xylem	17.800.000	17.000	1047,06
Suez	99.000.000	40.000	2475,00
Essential Utilities	5.500.000	3.200	1718,75
Severn Trent	8.000.000	7.651	1045,61
United Utilities	7.000.000	1.800	3888,89
Canal de Isabel II	6.530.000	3.052	2139,58

Tabla 11. Ratio de eficiencia operativa (Usuarios/Trabajadores)

Con esta tabla se puede observar que UNITED UTILITIES, es la empresa más eficiente según este criterio, con 3888,89 clientes por cada trabajador, seguido de SUEZ S.A con 2475,00 clientes y AMERICAN WATER WORKS COMPANY, con 2153,85 clientes por cada trabajador. En la otra cara de la moneda, las empresas menos eficientes según

dicta este ratio serían claramente VEOLIA ENVIRONEMENT, con solo 504.55 usuarios por trabajador, y SEVERN TRENT y XYLEM con 1045,61 y 1047,06 respectivamente.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

RATIO DE EFICIENCIA OPERATIVA	Usuarios/Trabajadores	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	2153,846154	0,143845934	3
Veolia Environement	504,5454545	0,033696377	8
Xylem	1047,058824	0,069928465	6
Suez	2475	0,165294391	2
Essential Utilities	1718,75	0,114787771	5
Severn Trent	1045,614952	0,069832035	7
United Utilities	3888,888889	0,259721826	1
Canal de Isabel II	2139,580603	0,142893201	4

Tabla 12. Ratio Normalizado Usuarios/Trabajadores

El segundo ratio de eficiencia operativa es aquel que calcula el total de kilómetros de red por trabajador, buscando así obtener la empresa que mejor rendimiento obtiene de cada trabajador. Por lo que, la empresa más eficiente será aquella que mayor cantidad de kilómetros de red tenga por cada trabajador.

$$\text{Ratio de eficiencia operativa (Ambiental)} = \frac{\text{Km totales de red}}{\text{Nº de trabajadores}}$$

De dónde se obtienen los siguientes resultados.

RATIO DE EFICIENCIA OPERATIVA	KM DE RED	TRABAJADORES	Km red/Trabajadores
American Water Works Company	150.100	6.500	23,09
Veolia Environement	425.000	57.200	7,43
Xylem	175.000	17.000	10,29
Suez	278.000	40.000	6,95
Essential Utilities	110.500	3.200	34,53
Severn Trent	145.100	7.651	18,96
United Utilities	26.520	1.800	14,73
Canal de Isabel II	33.679	3.052	11,04

Tabla 13. Ratio de eficiencia operativa (Km de red/Trabajadores)

En base a estos resultados obtenidos, se puede comprobar que ESSENTIAL UTILITIES con 34,53 kilómetros de red por trabajador y AMERICAN WATER WORKS COMPANY con 23,09 kilómetros de red por trabajador, están un paso por encima según este criterio al resto de empresas. Por otro lado, SUEZ S.A y VEOLIA ENVIRONEMENT obtienen los peores resultados en este ratio con 6,95 y 7,43 kilómetros de red por trabajador.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

RATIO DE EFICIENCIA OPERATIVA	Km red/Trabajadores	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	23,09230769	0,181784852	2
Veolia Environnement	7,43006993	0,05849022	7
Xylem	10,29411765	0,081036277	6
Suez	6,95	0,054711064	8
Essential Utilities	34,53125	0,271833299	1
Severn Trent	18,9648412	0,149293042	3
United Utilities	14,73333333	0,115982207	4
Canal de Isabel II	11,03505898	0,086869038	5

Tabla 14. Ratio normalizado Km de red/Trabajadores

2. El segundo ratio a estudiar es el **Ratio del Volumen de Agua**, en el que se compararán los volúmenes de agua, abastecida y depurada, de las empresas con diferentes datos que permitan obtener un parámetro diferencial. El primero de estos calculará el volumen de agua total entre el número de trabajadores.

$$\text{Ratio de volumen de agua por trabajador} = \frac{\text{Volumen de agua total}}{\text{N}^\circ \text{ de trabajadores}}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

	VOLUMEN AGUA TOTAL	TRABAJADORES	Volumen agua total/Trabajadores
American Water Works Company	2.402.554.000	6.500	369.623,69
Veolia Environnement	3.120.000.000	57.200	54.545,45
Xylem	2.300.000.000	17.000	135.294,12
Suez	4.422.220.000	40.000	110.555,50
Essential Utilities	743.418.300	3.200	232.318,22
Severn Trent	520.000.000	7.651	67.964,97
United Utilities	479.000.000	1.800	266.111,11
Canal de Isabel II	974.940.000	3.052	319.442,99

Tabla 15. Ratio de volumen de agua

De esta tabla se puede obtener que las empresas más eficientes basándose en este ratio son AMERICAN WATER WORKS COMPANY, con 369623.69 metros cúbicos mensuales por trabajador; y CANAL DE ISABEL II con 319442.99 metros cúbicos mensuales por trabajador; mientras que VEOLIA ENVIRONNEMENT, con 54545.45, y SEVERN TRENT con 67964.97 metros cúbicos mensuales por trabajador son aquellos que arrojan los peores resultados según este criterio.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

RATIO DEL VOLUMEN DE AGUA	Volumen agua total/Trabajadores	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	369.624	0,237569338	1
Veolia Environnement	54.545	0,035058163	8
Xylem	135.294	0,086957992	5
Suez	110.556	0,071057666	6
Essential Utilities	232.318	0,149318581	4
Severn Trent	67.965	0,043683329	7
United Utilities	266.111	0,171038388	3
Canal de Isabel II	319.443	0,205316544	2

Tabla 16. Ratio normalizado (Volumen de agua/Trabajadores)

A continuación, se puede comenzar a trabajar con los datos de volúmenes de agua por separado, ya que se pasa a comparar con los kilómetros de red, dato que si se ha podido obtener diferenciado. Una medida muy adecuada es comparar los volúmenes entre sus kilómetros de red, para medir la utilización y el aprovechamiento de cada kilómetro de red.

$$\text{Ratio volumen de agua por km de red} = \frac{\text{Volumen de agua (Abastecida o depurada)}}{\text{Kilómetros de red (Abastecida o depurada)}}$$

Se obtienen estas dos tablas para este modelo:

Volumen agua abastecida por kilómetro red abastecimiento	VOLUMEN DE AGUA ABASTECIDA	KM RED ABASTECIMIENTO	Vol abastecimiento/Km red Abastecimiento
American Water Works Company	1.282.554.000	86.100	14.896,10
Veolia Environnement	1.768.000.000	225.000	7.857,78
Xylem	1.000.000.000	80.000	12.500,00
Suez	4.420.000.000	150.000	29.466,67
Essential Utilities	328.823.000	50.500	6.511,35
Severn Trent	200.000.000	50.200	3.984,06
United Utilities	180.000.000	12.000	15.000,00
Canal de Isabel II	493.500.000	17.814	27.702,93

Tabla 17. Ratio de volumen de agua abastecida/Km red de abastecimiento

En el apartado de red de abastecimiento los mejores resultados lo muestran SUEZ S.A. con 29466.67 metros cúbicos mensuales por kilómetro, y CANAL DE ISABEL II, con 27702.93 metros cúbicos mensuales por kilómetro de tubería de abastecimiento. Por el contrario, SEVERN TRENT y ESSENTIAL UTILITIES, ofrecen los peores resultados con 3984.06 y 6511.35 metros cúbicos mensuales por kilómetro.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

Volumen agua abastecida por kilómetro red abastecimiento	Vol abastecimiento/Km red Abastecimiento	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	14896,09756	0,126324955	4
Veolia Environnement	7857,777778	0,066637146	6
Xylem	12500	0,106005075	5
Suez	29466,66667	0,249889297	1
Essential Utilities	6511,346535	0,055218862	7
Severn Trent	3984,063745	0,033786478	8
United Utilities	15000	0,12720609	3
Canal de Isabel II	27702,93028	0,234932096	2

Tabla 18. Ratio normalizado de agua abastecida/Km red de abastecimiento

Mientras que para el agua depurada:

Volumen agua depurada por kilómetro red depuración	VOLUMEN DE AGUA DEPURADA	KM RED DEPURACIÓN	Vol depuración/Km red depuración
American Water Works Company	1.120.000.000	64.000	17.500,00
Veolia Environnement	1.352.000.000	200.000	6.760,00
Xylem	1.300.000.000	95.000	13.684,21
Suez	2.220.000	12.800	173,44
Essential Utilities	414.595.300	60.000	6.909,92
Severn Trent	320.000.000	92.900	3.444,56
United Utilities	299.000.000	14.520	20.592,29
Canal de Isabel II	481.440.000	15.865	30.346,04

Tabla 19. Ratio de volumen de agua depurada/Km red de depuración

Con el agua depurada, CANAL DE ISABEL II obtiene los mejores resultados con 30346,04 metros cúbicos mensuales por kilómetro de red, seguido de UNITED UTILITIES con 20592,29. En la zona baja, destaca SUEZ S.A., cuya red de depuración alcanza poco más de 177,44 metros cúbicos por kilómetro y seguido por SEVERN TRENT, con 3444,56 metros cúbicos por kilómetro, consiguiendo baja puntuación en ambos criterios de este parámetro, dando a entender que deberían tratar de optimizar esas redes de tuberías.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

Volumen agua abastecida por kilómetro red abastecimiento	Vol depuración/Km red depuración	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	17500	0,176037804	3
Veolia Environnement	6760	0,068000889	6
Xylem	13684,21053	0,137653622	4
Suez	173,4375	0,00174466	8
Essential Utilities	6909,921667	0,069508997	5
Severn Trent	3444,564047	0,034649914	7
United Utilities	20592,2865	0,207144052	2
Canal de Isabel II	30346,04475	0,305260062	1

Tabla 20. Ratio normalizado de agua depurada/Km red de depuración

3. El tercer ratio a estudiar son dos conjuntos, ambos relacionados con el ámbito económico, pero de manera complementaria, el primero es el **Margen del Beneficio**, que se calcula a partir del EBITDA entre los ingresos totales.

$$\text{Margen de beneficio} = \frac{\text{EBITDA}}{\text{INGRESOS}}$$

	EBITDA	INGRESOS	Ebitda/ Ingresos
American Water Works Company	1.273.000.000	3.792.000.000	33,57%
Veolia Environnement	1.612.000.000	2.900.040.000	55,59%
Xylem	249.000.000	3.700.000.000	6,73%
Suez	3.597.000.000	9.000.000.000	39,97%
Essential Utilities	1.010.000.000	2.288.032.000	44,14%
Severn Trent	592.000.000	2.500.000.000	23,68%
United Utilities	1.383.000.000	2.019.248.852	68,49%
Canal de Isabel II	312.600.000	996.600.000	31,37%

Tabla 21. Ratio de EBITDA/Ingresos

Al ser menores que uno todos los resultados obtenidos del cálculo del margen de beneficio se muestran como un porcentaje, en el que las empresas con mayor margen de beneficio son UNITED UTILITIES, con 68.49% y VEOLIA ENVIRONEMENT con un 55.59%, mientras que XYLEM con un 6.73% obtiene poco beneficio de sus ingresos, quizá debería tratar de reducir algo sus gastos.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

	Ebitda/ Ingresos	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	0,335706751	0,110599859	5
Veolia Environement	0,555854402	0,183128335	2
Xylem	0,067297297	0,022171349	8
Suez	0,399666667	0,131671695	4
Essential Utilities	0,441427393	0,145429924	3
Severn Trent	0,2368	0,078014655	7
United Utilities	0,684908152	0,225645581	1
Canal de Isabel II	0,313666466	0,103338603	6

Tabla 22. Ratio normalizado de EBITDA/Ingresos

Por otro lado, se encuentran el **Ratio de Gastos Operativos a Ingresos**, donde se calcula relación entre gastos e ingresos de la empresa; y también el **Ratio de Gastos por Usuario**, que busca calcular el coste unitario que supone cada cliente a la empresa.

$$\text{Ratio de Gastos Operativos frente a Ingresos} = \frac{\text{Gastos}}{\text{Ingresos}}$$

$$\text{Ratio de Gastos por Usuarios} = \frac{\text{Gastos}}{\text{Usuario}}$$

Para comenzar, el Ratio de Gastos frente a Ingresos deberá de resultar menor que la unidad, ya que, de no ser así, la empresa daría pérdidas. Por lo cual, con este ratio se puede observar el potencial de cada euro gastado y observar en cuanto ingreso se convierte.

Estos son los resultados obtenidos:

	GASTOS	INGRESOS	Gastos/ Ingresos
American Water Works Company	2.519.000.000	3.792.000.000	66,43%
Veolia Environement	1.288.040.000	2.900.040.000	44,41%
Xylem	3.451.000.000	3.700.000.000	93,27%
Suez	5.403.000.000	9.000.000.000	60,03%
Essential Utilities	1.278.032.000	2.288.032.000	55,86%
Severn Trent	1.908.000.000	2.500.000.000	76,32%
United Utilities	636.248.852	2.019.248.852	31,51%
Canal de Isabel II	684.000.000	996.600.000	68,63%

Tabla 23. Ratio de gastos/ingresos

Para este caso lo que se busca es que el ratio sea el menor posible, ya que esto indicará que se han obtenido una gran cantidad de ingresos para una baja cantidad de gastos, es decir que los recursos económicos empleados están siendo correctamente explotados. Por lo que, según este ratio, UNITED UTILITIES está siendo la mejor empresa en este aspecto con un 31.51%, mientras que XYLEM con un 93.27%, debería de revisar sus gastos y comprobar porque sus ingresos no aumentan en consonancia.

	Gastos/ Ingresos	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	0,664293249	0,133804032	4
Veolia Environnement	0,444145598	0,089461201	7
Xylem	0,932702703	0,187867907	1
Suez	0,600333333	0,120921025	5
Essential Utilities	0,558572607	0,112509449	6
Severn Trent	0,7632	0,153726141	2
United Utilities	0,315091848	0,063466789	8
Canal de Isabel II	0,686333534	0,138243456	3

Tabla 24. Ratio normalizado de gastos/Ingresos

Por el contrario, el ratio de Gastos por Usuario hace referencia a la cantidad de esfuerzo económico que realiza la empresa sobre cada cliente, por ello el ratio deberá resultar también lo más bajo posible, ya que el interés de la empresa es satisfacer con los estándares de calidad al mínimo coste posible. Se obtiene la siguiente tabla de resultados:

	GASTOS	USUARIO	Gastos/ Usuario
American Water Works Company	2.519.000.000	14.000.000	179,93
Veolia Environnement	1.288.040.000	28.860.000	44,63
Xylem	3.451.000.000	17.800.000	193,88
Suez	5.403.000.000	99.000.000	54,58
Essential Utilities	1.278.032.000	5.500.000	232,37
Severn Trent	1.908.000.000	8.000.000	238,50
United Utilities	636.248.852	7.000.000	90,89
Canal de Isabel II	684.000.000	6.530.000	104,75

Tabla 25. Ratio de gastos/Nº de usuarios

Claramente se puede observar cómo empresas de mayor volumen de negocio (es decir, aquellas con mayor número de usuarios) tienen un menor coste por usuario, como son VEOLIA ENVIRONNEMENT con 44.63 euros por usuario al mes, y SUEZ S.A con 54.58 euros por usuario al mes. Por el contrario, empresas como ESSENTIAL UTILITIES y SEVERN TRENT alcanzan los 232.37 y 238.50 euros por usuario al mes respectivamente. Esto puede deberse al alza de los costes fijos, y estas empresas con menor número de clientes tienen más dificultades para afrontar estos gastos.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

	Gastos/ Usuario	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	179,9285714	0,157898449	4
Veolia Environnement	44,63063063	0,039166138	8
Xylem	193,8764045	0,170138535	3
Suez	54,57575758	0,047893602	7
Essential Utilities	232,3694545	0,203918567	2
Severn Trent	238,5	0,209298499	1
United Utilities	90,89269314	0,079763959	6
Canal de Isabel II	104,7473201	0,091922251	5

Tabla 26. Ratio normalizado de gastos/Nº de usuarios

Para aportarle mayor fiabilidad a este último ratio, se puede calcular su caso complementario, que permita jerarquizar las empresas además de sus gastos por usuario, como sus ingresos por usuario. De esta manera, se podría comprobar si aquellas empresas que sufren en mayor medida el coste por usuario pueden compensar a su vez con los ingresos por usuario, o bien, se quedan rezagados también a la hora del ingreso per cápita.

La tabla quedaría así:

INGRESOS POR USUARIO	INGRESOS	USUARIOS	Ingresos/Usuario
American Water Works Company	3.792.000.000	14.000.000	270,86
Veolia Environement	2.900.040.000	28.860.000	100,49
Xylem	3.700.000.000	17.800.000	207,87
Suez	9.000.000.000	99.000.000	90,91
Essential Utilities	2.288.032.000	5.500.000	416,01
Severn Trent	2.500.000.000	8.000.000	312,50
United Utilities	2.019.248.852	7.000.000	288,46
Canal de Isabel II	996.600.000	6.530.000	152,62

Tabla 27. Ratio de ingresos/Nº de usuarios

Se puede observar como ESSENTIAL UTILITIES y SEVERN TRENT lideran este ratio, lo que permite pensar que satisfacen su elevado coste por usuario con creces, mediante unos 416.01 y 312.50 euros por usuario mensuales, respectivamente. Por otro lado, VEOLIA ENVIRONEMENT y SUEZ S.A. que anteriormente mostraban unos costes más reducidos, ahora también presentan los menores ingresos per cápita de toda la muestra de empresas con 100.49 y 90.91 euros por usuario y mes. Aun así, como se suponía anteriormente, parece que estas grandes empresas pueden obtener beneficios de sobra, optando por una u otra estrategia.

Una vez normalizada podemos establecer un ranking respecto a este criterio.

	Ingresos/Usuario	Normalizado	Orden [1-8]
American Water Works Company	270,8571429	0,147228453	4
Veolia Environement	100,4864865	0,054620933	7
Xylem	207,8651685	0,112988222	5
Suez	90,90909091	0,049414997	8
Essential Utilities	416,0058182	0,226126187	1
Severn Trent	312,5	0,169864051	2
United Utilities	288,4641217	0,156798989	3
Canal de Isabel II	152,618683	0,082958169	6

Tabla 28. Ratio normalizado de ingresos/Nº de usuarios

Con todos estos ratios, se comprueba que todas las empresas tienen aspectos donde destacan frente al resto y otros donde aún deben mejorar. En función a los criterios que se han estudiado en estos ratios, la empresa UNITED UTILITIES es la mayor beneficiada, mostrando un mayor número de criterios en la zona alta del ranking; mientras que Severn Trent se encuentra un poco por debajo de las demás. Todo esto no aporta una información clara, ya que puede haber aspectos en los que la empresa destaque notablemente pero no hayan sido estudiados al detalle.

Mediante el orden, se puede ver que empresa resulta más eficiente según que ratio. Por último, a modo de resumen, se realizará un cálculo total para según las medidas elegidas que empresa aparece como la más eficiente a nivel general. La que menor coeficiente

obtenga, será la más eficiente del total de ratios que se han realizado.

ORDEN POR RATIO	Usuarios/Trabajadores	Km red/Trabajadores	Volumen total/Trabajadores	Abastecimiento	Depuración	Ebitda/ Ingresos	Gastos/ Ingresos	Gastos/ Usuario	Ingresos/ Usuario	
American Water Works Company	3	2	1	4	3	5	4	4	4	30
Veolia Environment	8	7	8	6	6	2	7	8	7	59
Xylem	6	6	5	5	4	8	1	3	5	43
Suez	2	8	6	1	8	4	5	7	8	49
Essential Utilities	5	1	4	7	5	3	6	2	1	34
Severn Trent	7	3	7	8	7	7	2	1	2	44
United Utilities	1	4	3	3	2	1	8	6	3	31
Canal de Isabel II	4	5	2	2	1	6	3	5	6	34

Tabla 29. Orden por ratio. Ranking Global

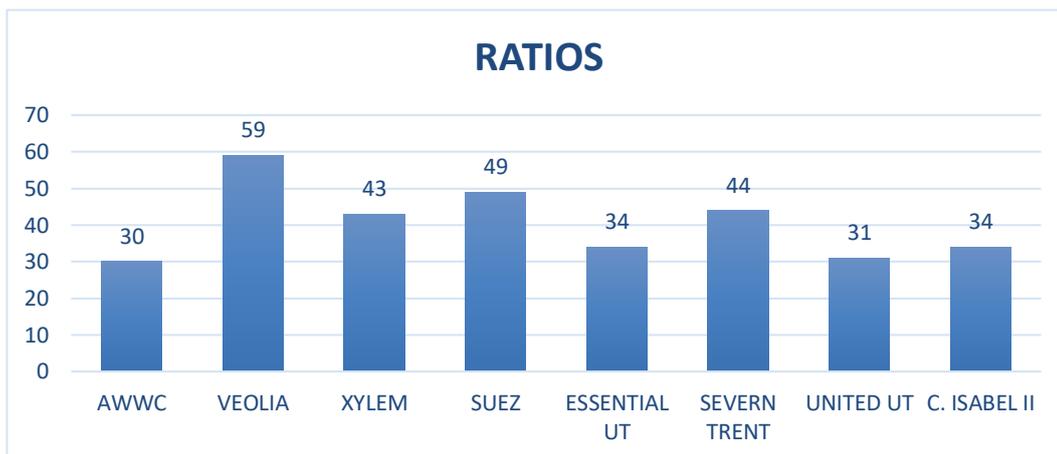


Ilustración 23. Orden por ratio. Ranking Global

Se puede observar cómo AMERICAN WATER WORKS COMPANY resulta la empresa más eficiente a niveles generales, seguida de cerca por United Utilities. En cambio, empresas como Veolia o Suez salen perjudicadas por estos ratios.

Por ello, ahora se procede a elaborar modelos más sofisticados mediante el software EMS. Estos modelos no sólo se realizarán utilizando como entradas y salidas los datos obtenidos directamente de las empresas, también podrán utilizarse valores obtenidos de estos ratios calculados previamente, lo que aportará mayor precisión y complejidad a los modelos.

4.2. Software EMS

El software que se va a utilizar para obtener las eficiencias de estos modelos se llama EMS, una aplicación de uso académico que busca entre todas las soluciones aquella proyección que resulta más eficiente para cada DMU. El formato de introducción de datos debe realizarse en archivos de Excel 97, es decir “.xls”, y sigue un procedimiento específico, (aunque también puede añadirse en formato de texto “.txt”, pero sigue un procedimiento diferente). La hoja del archivo en que se van a cargar los datos en la aplicación debe llamarse “DATA”; a continuación, se pondrán en la primera columna (A) las diferentes DMU’s a estudiar, en este caso, las distintas empresas del sector del agua. Luego a partir de la siguiente columna (B) en la primera fila (1) se van colocando las entradas y las salidas del problema, en este caso, serán los criterios seleccionados para cada modelo, diferenciados con “{I}” si se tratan de INPUTS y “{O}” si se tratan de

OUTPUTS.

Se pueden añadir otras hojas para añadir restricciones a los pesos (hoja llamada "WEIGHTS").

Una vez añadidos los datos en el libro de Excel 97, se accede a la aplicación EMS y se cargan los datos con los que se van a realizar los modelos. En la esquina superior izquierda habrá que pulsar "File" y a continuación "Load data", y seleccionar la hoja de cálculo en la que se encuentran los datos de las DMU's a estudiar.

Una vez cargados (debe aparecer en la zona inferior izquierda: "Input Output Data" y la ubicación del archivo), se procede a elegir el modelo DEA a utilizar. Para ello habrá que pulsar en "DEA" y a continuación "Run model", donde aparecerán las diferentes opciones de modelo que puede resolver la aplicación. El primer paso será elegir la estructura de la tecnología a utilizar. La estructura deberá mantenerse en "CONVEX" y para este trabajo se utilizará el retorno de escala constante (CRS). El marcador de la supereficiencia se puede marcar o no, en función de si se quiere permitir que la eficiencia alcance valores superiores al 100%, lo cual será muy útil para el problema, ya que permitirá ordenar las diferentes empresas jerárquicamente según su eficiencia en cada modelo. A continuación, habrá que seleccionar el tipo de medición de la distancia a la frontera tecnológica, para este problema se seleccionará en función a la orientación. La distancia radial indica las mejoras necesarias cuando todos los factores relevantes se ven afectados en la misma proporción, mientras que la aditiva calcula la suma máxima absoluta de las mejoras. Se va a utilizar la distancia radial para los modelos con orientación de salida (Output) y entrada (Input) mientras que se utilizará la distancia aditiva para los modelos no orientados. Como se dijo anteriormente, la orientación de entrada hace mención de cuanto se podrían reducir las entradas sin modificar las salidas, y la orientación de salida a cuanto se pueden aumentar los outputs sin modificar las entradas. Por último, la no orientada permite modificar simultáneamente entradas y salidas.

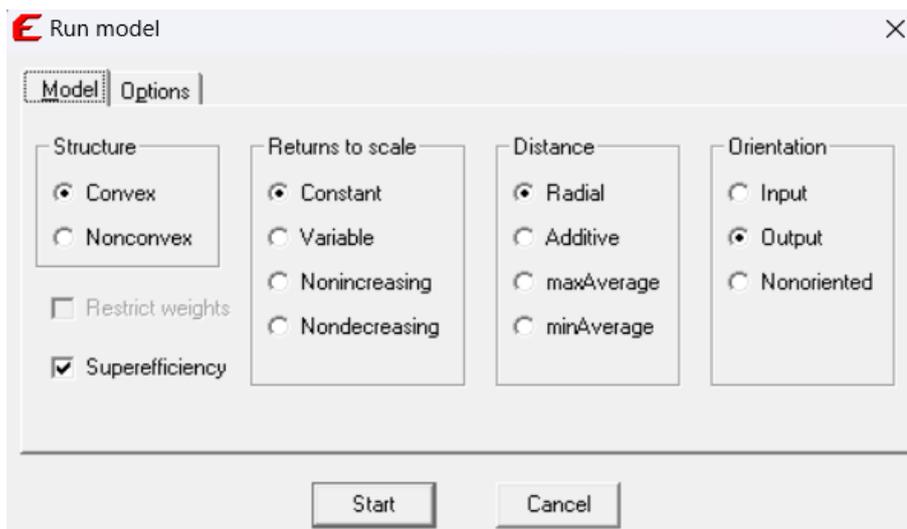


Ilustración 24. Software EMS. Modelos

Una vez elegidos todos los puntos se podrá pulsar el botón de comenzar y aparecerá una tabla, con los DMU's eficientes marcados en azul. Esta tabla está formada por diferentes columnas: la primera columna indicará las DMU's del problema, es decir, las unidades de decisión que serán enfrentadas en este problema, en este caso, las 8 mayores empresas del sector del agua. La segunda columna de "score" serán los porcentajes que cuantifican el nivel de eficiencia cada DMU para el modelo elegido, las siguientes columnas mencionan los pesos asignados a cada dato, primero de las variables de entrada (inputs), marcados con "{I}" y a continuación los pesos asignados a las variables de salida (outputs), marcados con "{O}". La columna de "Benchmarks" hace referencia en aquellas DMU's ineficientes sobre cuál se ha proyectado cada una, y en qué porcentaje; mientras que para aquellas que alcanzan la eficiencia, indica el número de DMU's que se han proyectado sobre ellas. A partir de ahí, las últimas columnas indican las holguras que tienen los diferentes datos que les impiden alcanzar la eficiencia, es por eso que aquellas marcadas como DMU's eficientes no tienen valores en esas columnas, porque ya son eficientes. Para ello se van a elaborar diferentes modelos que utilicen los datos previamente obtenidos buscando ordenar jerárquicamente las empresas y decidir las empresas más eficientes del sector en función a los diferentes aspectos estudiados.

4.3. Problema modelo ambiental/social

Este primer problema buscará desde un aspecto medioambiental y social que empresa realiza una mejor gestión de sus recursos, combinando como entradas el gasto combinado de los kilómetros de red, tanto de abastecimiento como de depuración, y el número de trabajadores que realizan labores sobre ellas, y el rendimiento que se le obtiene en volúmenes de agua, que serán los elementos de salida u outputs.

De esta forma se podrá obtener el rendimiento que se le obtiene a cada kilómetro de tubería y a cada trabajador de la empresa, el mejor caso será aquel que obtenga un mayor rendimiento utilizando un menor número de recursos, siendo así más sostenible.

Inputs: Km red abastecimiento / Km red depuración /Número de trabajadores

Outputs: Volumen de agua abastecida / Volumen de agua depurada

El primer caso que se va a calcular en EMS es el retorno de escala constante con orientación de salida, y como se ha comentado antes, todos los problemas con orientación de entrada o salida utilizarán la distancia radial (Tabla 22).

CRS_RAD_OUT

	DMU	Score	Km red abastecimie (I)(V)	Km red depuració (I)(V)	Nº Trabajadores (I)(V)	Volumen agua abastecida(O)(V)	Volumen agua depurada (O)(V)	Benchmarks	(S) Km red abastecimie (I)	(S) Km red depuración (I)	(S) Nº Trabajadores (I)	(S) Volumen agua abastecida(O)	(S) Volumen agua depurada (O)
1	AWwC	86.75%	0.00	0.00	0.87	0.50	0.50		3				
2	VEOLIA	400.39%	0.00	4.00	0.00	0.50	0.50	8 (12.61)	430.19	0.00	18725.37	6221241677.98	6063208901.16
3	SYLEM	193.97%	1.94	0.00	0.00	0.50	0.50	8 (4.49)	0.00	23752.67	3293.93	2216234422.29	2162074772.23
4	SUEZ	87529.13%	0.00	875.29	0.00	0.50	0.50	8 (8.07)	6275.32	0.00	15376.24	7729612220592.77	0.14
5	ESSENTIAL	162.51%	0.00	0.00	1.63	0.50	0.50	1 (0.49)	8112.31	28492.31	0.00	631411186.98	551384609.64
6	SEVERN	506.23%	0.76	0.00	4.30	0.50	0.50	1 (0.12) 8 (2.26)	0.00	49651.53	0.00	1263789667.14	1217805489.70
7	UNITED	130.82%	0.20	0.00	1.11	0.50	0.50	1 (0.03) 8 (0.52)	0.00	4226.17	0.00	298235731.91	286877999.83
8	CANAL	57.96%	0.16	0.42	0.00	0.50	0.50		5				

Tabla 30. Problema modelo ambiental social. CRS_RAD_OUT

De la misma manera, se hará el problema a la inversa, ahora se mantendrán fijas las salidas intentando reducir al mínimo posible las entradas.

CRS_RAD_IN

	DMU	Score	Km red abastecimiento (I)(V)	Km red depuración (I)(V)	Nº Trabajadores (I)(V)	Volumen agua abastecida(O)(V)	Volumen agua depurada (O)(V)	Benchmarks	(S) Km red abastecimiento (I)	(S) Km red depuración (I)	(S) Nº Trabajadores (I)	(S) Volumen agua abastecida(O)	(S) Volumen agua depurada (O)
1	AWWC	122,03%	0,00	0,00	1,00	1,22	0,00		1				
2	VEOLIA	28,00%	1,00	0,00	0,00	0,27	0,01	4 (0,09) 8 (2,81)	0,00	376,16	3984,92	49,98	561,59
3	XYLEM	60,13%	1,00	0,00	0,00	0,00	0,60	8 (2,70)	0,00	14281,87	1980,55	332564794,40	0,50
4	SUEZ	111,01%	0,00	1,00	0,00	1,11	0,00		1				
5	ESSENTIAL	75,19%	0,00	0,00	1,00	0,00	0,75	1 (0,37)	6099,78	21423,84	0,00	145945617,56	0,28
6	SEVERN	25,34%	0,40	0,00	0,60	0,00	0,25	7 (0,94) 8 (0,08)	0,00	8608,35	0,00	9080698,90	0,00
7	UNITED	104,23%	0,08	0,00	0,32	0,00	1,04		1				
8	CANAL ISABEL	173,18%	0,30	0,70	0,00	0,91	0,82		3				

Tabla 31. Problema modelo ambiental social. CRS_RAD_IN

A continuación, se estudia el caso de modelo no orientado, por ello se selecciona la distancia aditiva ya que permite mostrar el total absoluto de las mejoras, en ambas direcciones. Para este bloque, se calculará el modelo de retorno de escala constante.

CRS_ADD_NON

	DMU	Score	Km red abastecimiento (I)(V)	Km red depuración (I)(V)	Nº Trabajadores (I)(V)	Volumen agua abastecida(O)(V)	Volumen agua depurada (O)(V)	Benchmarks	(S) Km red abastecimiento (I)	(S) Km red depuración (I)	(S) Nº Trabajadores (I)	(S) Volumen agua abastecida(O)	(S) Volumen agua depurada (O)
1	AWWC	0,00	620893055,11	9583063,57	6841230217,42	5497487146,08	2874279190,02		2				
2	VEOLIA	9170470047,70	304829,74	0107981,07	57247,48	1768000006,16	1352000004,43	8 (12,61)	430,19	0,00	18725,37	4453241613,31	4717208827,47
3	XYLEM	2078336257,69	4378224245,95	95001,24	17015,32	1000000000,23	1300000004,59	8 (4,49)	0,00	23752,67	3293,93	1216234392,11	862074706,41
4	SUEZ	0,00	15141063045,91	5436941,52	129193502,89	47543451421,70	2241968,62		0				
5	ESSENTIAL	439414120,03	50500,06	60000,01	1182721920,00	328823000,00	414595300,03	1 (0,49)	8112,31	28492,31	0,00	302588199,97	136789315,37
6	SEVERN	1961644821,72	339955102,80	92900,02	2141596818,90	200000000,00	320000000,00	1 (0,12) 8 (2,26)	0,00	49651,53	0,00	1063789675,92	897805493,94
7	UNITED	0,00	311127240,70	3238959,64	2903915310,90	181492990,77	3036788520,47		0				
8	CANAL	0,00	635029015,72	9316543,66	266058416,34	751778580,66	769225395,06		3				

Tabla 32. Problema modelo ambiental social. CRS_ADD_NON

4.3.1 Análisis de resultados modelo ambiental/social

Como se ha dicho desde un principio, los casos principales de estudio son el retorno de escala constante con orientación de salida y el retorno de escala constante no orientado, pero se estudiarán algunos más buscando hallar más información sobre cada problema.

En el modelo con orientación de salida CANAL DE ISABEL II y AMERICAN WATER WORKS COMPANY aparecen como las empresas más eficientes en este criterio, con unos scores de 57,96% y 86,75% respectivamente, siendo estas dos las únicas en alcanzar la eficiencia.

Para el canal de Isabel II se otorga un peso de 0,16, 0,42, y 0,00 a las variables de entrada “Km red abastecimiento”; “Km red depuración” y “Nº trabajadores”, mientras que las variables de salida mantienen sus pesos a 0,50 cada una, por este el caso de orientación de salida. Sobre esta, se proyectan hasta 5 empresas, como se puede ver en la columna ‘Benchmarks’, donde VEOLIA ENVIRONEMENT se proyecta con una intensidad de 12,61; SUEZ S.A un 8,07, XYLEM un 4,09, y SEVERN TREN, con un 2,26, y UNITED UTILITIES, con un 0,52; se proyectan en ambas DMU’s eficientes, tanto en AMERICAN WATER WORKS COMPANY como en esta, CANAL DE ISABEL II.

Para AMERICAN WATER WORKS COMPANY se asigna un peso de 0,87 a la variable de entrada “Número de Trabajadores” mientras que las otras dos variables de entrada “Km red abastecimiento” y “Km red depuración” se mantienen a 0, en cambio, las variables de salida “Volumen agua abastecida” y “Volumen agua depurada” reciben ambas un peso igual de 0,50. Sobre esta se proyectan 3 empresas con diferente intensidad, ESSENTIAL UTILITIES, con un 0,49, SEVERN TRENT, con un 0,12 y UNITED UTILITIES con un 0,03.

Por el lado contrario, SUEZ S.A demuestra un bajo nivel de eficiencia en este criterio, obteniendo el mayor score de todos, con 87529,13%, muy por delante de sus perseguidores, SEVERN TRENT, con 506,23 y XYLEM con 400,39. Para SUEZ S.A se le asignó un peso de 875,29 a la variable “Km red abastecimiento” mientras que a las otras dos variables no se le asignó peso alguno. Gracias a esa distribución de pesos, dicha variable cumple correctamente con una holgura nula para esta DMU, pero con 6275,32 en “Km red abastecimiento” y 15376,24 en “Nº de trabajadores”, pero sobre todo las 7729612220592,77 unidades de holgura de “Volumen de Agua Abastecida” hacen que la empresa diste mucho de alcanzar un rendimiento adecuado, pese al 0,14 de “Volumen de Agua Depurada”.

Estos valores pueden deberse a distintos factores, ya que existen condicionantes indirectos que podrían afectar al realismo de este modelo. Por ejemplo, habría que tener en cuenta que quizá cubra una mayor superficie y por ello deberá de tener necesariamente esa cantidad de red de canalizaciones pese a que la densidad poblacional que utilice esa agua sea menor a una con un territorio de menores dimensiones.

Por el contrario, cuando se observan los resultados de la orientación de entrada, se puede ver como SUEZ S.A si se muestra como una empresa eficiente, con un score de 111,01%, otorgándole el peso con valor unidad a la variable de entrada “Km red de depuración” haciendo nulas las otras dos variables, y con un peso de 1,11 a la variable de salida “Volumen de agua abastecida” mientras la otra se hace también 0. Sobre esta DMU se proyecta con una intensidad de 0,09 VEOLIA ENVIRONEMENT, que no muestra sus mejores resultados en este caso, con tan sólo un 28% de score. Aunque la que mejores resultados muestra es el CANAL ISABEL II con un 173,18% y hasta 3 empresas proyectándose sobre ella, con unos pesos bastante equilibrados, con 0,30 para “Km Red Abastecimiento” y 0,70 a “Km Red Depuración” en las variables de entrada, 0,91 y 0,82 para las variables de salida “Volumen Agua Abastecida” y “Volumen Agua Depurada” respectivamente. Entre las empresas eficientes según este modelo también se encuentra AMERICAN WATER WORKS COMPANY con 122,03% de score, con ESSENTIAL UTILITIES proyectándose sobre ella con un 0,37 de intensidad, que está no ha alcanzado la eficiencia, obteniendo un score de 75,19%, con un valor significativo de holgura para la variable “Volumen de Agua Abastecida” de 145945617,56. Finalmente, al grupo de DMU’s eficientes se le une también UNITED UTILITIES con un 104,23% y con SEVERN TRENT proyectándose sobre ella, con una intensidad de 0,94. A UNITED UTILITIES se le asignaron unos pesos de 0,08 para “Km Red Abastecimiento”, 0,92 para “Nº de Trabajadores” para la entrada, y 1,04 para “Volumen Agua Depurada” a la salida.

Por último, en el modelo aditivo no orientado se mantienen las mismas empresas eficientes que en el modelo anterior, donde destaca CANAL ISABEL II sobre la que se proyectan 3 DMU’s, VEOLIA ENVIRONEMENT con una intensidad de 12,61; XYLEM con 4,49 unidades y SEVERN TRENT con 2,26, que combina esa proyección junto con 0,12 de AMERICAN WATER WORKS COMPANY, que cuenta también con otra proyección por parte de ESSENTIAL UTILITIES. Destacar el elevado número de los scores de las DMU’s ineficientes, de las que podemos mencionar que en conjunto, tienen un mayor valor de holgura en sus variables de salida, “Volumen Agua Abastecida” y “Volumen Agua Depurada”, por lo que serán buenos puntos a mejorar para alcanzar la eficiencia según este criterio.

4.4. Modelo económico

El segundo problema por estudiar tratará los aspectos económicos de la empresa. La razón principal de una empresa es obtener beneficios, y estos se obtienen con un aumento de los ingresos, o bien, con una reducción de los gastos. Por ello, los inputs de este

problema serán los ingresos directos que se obtienen de la explotación del negocio, y los gastos principales obtenidos de la empresa, que son el número de trabajadores, y el gasto, que hemos obtenido previamente. Como parámetro de salida, obtendremos los ingresos, que como se explicó previamente, expresa la ganancia absoluta del trabajo realizado. De esta manera, la empresa más eficiente será aquella que su variabilidad entre ingresos y gastos proporcione un mejor resultado.

Inputs: Gastos / Número de usuarios / Número de trabajadores

Outputs: Ingresos

Al igual que en el modelo anterior se va a comenzar estudiando los casos principales, en los que se mejoran las salidas sin modificar las entradas, por lo que deberán de tener orientación de salida y con medición radial.

CRS_RAD_OUT

	DMU	Score	Gastos (I)(V)	Usuarios (I)(V)	Trabajadores (I)(V)	Ingresos (O)(V)	Benchmarks	{S} Gastos (I)	{S} Usuarios (I)	{S} Trabajadores (I)	{S} Ingresos (O)
1	AwWC	136,13%	0,60	0,76	0,00	1,00	5 (1,60) 7 (0,74)	0,76	0,00	39,40	0,00
2	VEOLIA	107,64%	0,00	1,08	0,00	1,00	5 (5,25)	5817543,34	0,00	40408,73	0,00
3	XYLEM	183,44%	0,84	0,99	0,00	1,00	5 (2,36) 7 (0,69)	2,06	0,00	8216,05	0,00
4	SUEZ	380,79%	0,00	2,06	1,75	1,00	5 (8,14) 7 (7,74)	4596282,95	0,01	0,00	0,00
5	ESSENTIAL	73,78%	0,00	0,66	0,08	1,00		6			
6	SEVERN	133,12%	0,00	1,33	0,00	1,00	5 (1,45)	9044361,98	0,00	2996,45	0,00
7	UNITED	56,41%	0,56	0,00	0,00	1,00		4			
8	CANAL	197,19%	0,62	1,35	0,00	1,00	5 (0,12) 7 (0,84)	2,67	0,01	1165,24	0,00

Tabla 33. Problema modelo económico. CRS_RAD_OUT

Y de la misma manera que en el modelo anterior, se pasa a fijar la salida para reducir las entradas al mínimo posible. Es decir, el modelo radial con orientación de entrada.

CRS_RAD_IN

	DMU	Score	Gastos (I)(V)	Usuarios (I)(V)	Trabajad (I)(V)	Ingresos (O)(V)	Benchmarks	{S} Gastos (I)	{S} Usuarios (I)	{S} Trabajadores (I)	{S} Ingresos (O)
1	AwWC	70,66%	0,50	0,50	0,00	0,71	7 (1,88)	1170419558,46	0,00	2722,99	0,02
2	VEOLIA	79,10%	0,50	0,50	0,00	0,79	5 (4,87)	2634590964,42	0,00	37541,37	0,35
3	XYLEM	52,92%	0,50	0,50	0,00	0,53	7 (1,83)	1320925617,46	0,12	8951,82	31,83
4	SUEZ	16,86%	0,50	0,37	0,13	0,17	5 (2,14) 7 (2,03)	10161753204,19	0,01	0,00	2,69
5	ESSENTIAL	100,31%	0,50	0,50	0,00	1,00		3			
6	SEVERN	74,15%	0,50	0,50	0,00	0,74	5 (1,09)	36842105,42	0,02	2250,91	4,69
7	UNITED	167,08%	0,50	0,00	0,50	1,67		4			
8	CANAL	49,41%	0,50	0,50	0,00	0,49	7 (0,49)	47865595,00	0,00	726,34	2,55

Tabla 34. Problema modelo económico. CRS_RAD_IN

Por último, el modelo no orientado buscando mediante la medición aditiva aumentar las salidas reduciendo las entradas.

CRS_ADD_NON

	DMU	Score	Gastos (I)(V)	Usuarios (I)(V)	Trabajadores (I)(V)	Ingresos (O)(V)	Benchmarks	{S} Gastos (I)	{S} Usuarios (I)	{S} Trabajadores (I)	{S} Ingresos (O)
1	AwWC	1493002911,38	2519000009,77	2765996468,45	6503,31	3792000070,16	7 (2,00)	1246502278,73	0,00	2900,00	246497711,53
2	VEOLIA	3780868736,18	9542000000,54	6611513662,67	57200,03	12372702127,06	5 (4,03) 7 (0,95)	3780826156,70	0,00	42577,43	0,66
3	XYLEM	3267783854,79	3451000000,68	3516766857,11	17000,56	3700000003,55	7 (2,54)	1833110058,34	0,00	12422,86	1434661369,38
4	SUEZ	64589586054,68	54030000002,40	19559545954,53	40110,12	9000000012,37	7 (14,14)	45031623321,29	0,04	14542,86	19557948043,59
5	ESSENTIAL	0,00	2772021686,25	4131551129,16	864893145,39	7768465959,80		2			
6	SEVERN	967567464,87	1908000000,07	1832713417,06	7651,01	2773153603,26	5 (0,27) 7 (0,93)	967562360,24	0,00	5104,36	0,06
7	UNITED	0,00	4927123793,89	11917432530,02	296148601,83	17140704925,74		6			
8	CANAL	977542803,27	684000011,09	1290139740,17	3052,23	996600000,22	7 (0,93)	90470710,30	0,00	1372,86	887070715,66

Tabla 35. Problema modelo económico. CRS_ADD_NON

4.4.1 Análisis de resultados modelo económico

En el segundo modelo se buscan aquellas empresas que ofrecen un mejor resultado en el aspecto económico. Tanto en los modelos radiales con orientación de salida y de entrada son ESSENTIAL UTILITIES y UNITED UTILITIES los destacados. En el modelo con orientación de salida, ESSENTIAL UTILITIES presenta un score de 73,78%, otorgándole pesos de 0,66 a “Usuarios” y 0,08 a “Trabajadores” en las variables de entrada, y al haber solo una variable de salida, tendrá el peso con valor igual a la unidad. Esta DMU cuenta con 6 proyecciones, destacando la de SUEZ S.A con 8,14 unidades de intensidad, y las 5,25 de VEOLIA ENVIRONEMENT. También UNITED UTILITIES muestra buenos resultados a nivel de eficiencia con un score de 56,41%, otorgándole el 0,56 de peso a “Gastos” y la unidad a “Ingresos”, con 4 empresas proyectándose sobre ella, donde destaca la intensidad de la proyección de SUEZ S.A de nuevo, que con 380,79% de score y una holgura de 4596282,95 en la variable “Gastos” debe de buscar soluciones para reducir esa cantidad, pudiendo así alcanzar mejores valores de eficiencia para este criterio.

En el modelo con orientación de entrada, UNITED UTILITIES con un score de 167,08% encabeza el ranking de eficiencia, diviendo la importancia de las variables de entrada en 0,50 “Gastos”, 0,50 para “Nº de Trabajadores” y suprimiendo la variable de entrada “Nº de usuarios”, mientras que la solitaria variable de salida “Ingresos” adquiriría un peso por valor de 1,67. Sobre esta se proyectan 4 DMU’s diferentes, destacando la intensidad de SUEZ S.A con 2,03 y el 1,88 de AMERICAN WATER WORKS COMPANY, donde ambas salen muy perjudicadas debido al alto valor de su holgura en la variable “Gastos”. Sobre ESSENTIAL UTILITIES, que cuenta con un 100,31% de score, se proyectan 3 empresas, especialmente VEOLIA ENVIRONEMENT con una intensidad de 4,87; que pese a su score de 79,10%, altas holguras en las variables “Gastos”, “Trabajadores” e “Ingresos” hacen que no sea eficiente respecto a sus rivales.

En la tercera tabla, de nuevo ESSENTIAL UTILITIES y UNITED UTILITIES muestran los mejores resultados con los scores al 0%, demostrando que en este criterio presentan un dominio incontestable cuando se alteran tanto los inputs como los outputs. Destacar que sobre UNITED UTILITIES se proyectan 6 DMU’s diferentes, especialmente SUEZ S.A con una intensidad de 14,14, la cual sale perjudicada de este segundo problema demostrando que debe buscar la manera de mejorar en el aspecto económico.

4.5. Problema mixto: Económico-ambiental

Para este tercer problema se tratarán de mezclar criterios de carácter económico junto con aquellos más enfocados al aspecto ambiental, de forma que combinen de manera adecuada y permitan darle al problema una vista más general mediante la mezcla de ambos criterios de decisión.

Para este problema se usarán los volúmenes de agua (abastecimiento y residuales) como entrada y los ingresos como salida, siendo una muestra del valor por metro cúbico de agua trabajada por las empresas en valor monetario absoluto de forma anual.

Inputs: Volumen de agua abastecida/Volumen de agua depurada

Output: Ingresos

Al igual que en los otros modelos se comienza con el modelo al que se le ha dado una mayor prioridad en estos modelos, el retorno de escala constante con orientación de salida, buscando una mejor salida manteniendo las entrada estables.

CRS_RAD_OUT

	DMU	Score	Volumen agua abastecida(I){V}	Volumen agua depurada(I){V}	Ingresos {O}{V}	Benchmarks	{S} Volumen agua abastecida(I)	{S} Volumen agua depurada(I)	{S} Ingresos {O}
1	AWWC	261,98%	0,69	1,93	1,00	4 (0,13) 6 (3,50)	0,09	2,97	0,00
2	VEOLIA	111,52%	0,32	0,79	1,00	4 (0,21) 6 (4,22)	0,18	4,41	0,00
3	XYLEM	284,80%	0,55	2,30	1,00	4 (0,04) 6 (4,06)	0,21	3,06	0,00
4	SUEZ	0,20%	0,00	0,00	1,00	5			
5	ESSENTIAL	147,76%	0,29	1,19	1,00	4 (0,02) 6 (1,30)	0,09	1,03	0,00
6	SEVERN	87,07%	0,17	0,70	1,00	6			
7	UNITED	111,43%	1,11	0,00	1,00	6 (0,90)	0,00	11000000,24	0,00
8	CANAL	416,70%	1,01	3,16	1,00	4 (0,04) 6 (1,50)	0,04	1,26	0,00

Tabla 36. Problema modelo mixto. CRS_RAD_OUT

Para continuar dándole la vuelta al modelo, fijando esta vez la salida e intentando reducir al mínimo los volúmenes de agua (entradas) consiguiendo así unos los ingresos con un menor esfuerzo.

CRS_RAD_IN

	DMU	Score	Volumen agua	Volumen agua	Ingresos {O}{V}	Benchmarks	{S} Volumen agua abastecida(I)	{S} Volumen agua depurada(I)	{S} Ingresos {O}
1	AWWC	33,49%	0,50	0,50	0,33	6 (1,52)	303360000,37	485376000,38	2,67
2	VEOLIA	78,04%	0,50	0,50	0,78	6 (4,46)	892320001,30	427712001,30	8,33
3	XYLEM	33,02%	0,50	0,50	0,33	6 (1,48)	296000000,42	473600000,47	3,12
4	SUEZ	24586,16%	0,50	0,50	245,86	0			
5	ESSENTIAL	63,15%	0,50	0,50	0,63	6 (0,92)	183042560,44	292868096,51	3,70
6	SEVERN	113,56%	0,50	0,50	1,14	6			
7	UNITED	88,09%	0,50	0,50	0,88	6 (0,81)	161539908,51	258463853,41	2,32
8	CANAL	21,33%	0,50	0,50	0,21	6 (0,40)	79728040,49	127564839,54	249,42

Tabla 37. Problema modelo mixto. CRS_RAD_IN

Por último, se añadirán ambas casuísticas como en los modelos anteriores, buscando el mejor resultado posible, este es el modelo de retorno de escala constante con medición aditiva y no orientado.

CRS_ADD_NON

	DMU	Score	Volumen agua abastecida(I){V}	Volumen agua depurada(I){V}	Ingresos {O}{V}	Benchmarks	{S} Volumen agua abastecida(I)	{S} Volumen agua depurada(I)	{S} Ingresos {O}
1	AWWC	6142281792,40	2607321122,87	7326960669,79	3792000000,25	4 (0,13) 6 (3,50)	0,17	0,05	6142281790,68
2	VEOLIA	1284879018,28	3594190809,38	8844688339,83	11154000130,93	4 (0,21) 6 (4,22)	9,28	0,90	1284878977,05
3	XYLEM	6837421249,55	2032913330,63	8504507918,94	3700000000,02	4 (0,04) 6 (4,06)	0,03	0,04	6837421248,43
4	SUEZ	0,00	12969745387,26	37860806,13	13007606193,39	5			
5	ESSENTIAL	1092689758,38	668468659,98	2712253105,92	2288032007,52	4 (0,02) 6 (1,30)	2,18	2,45	1092689714,26
6	SEVERN	0,00	615882223,29	245097766,73	3066859990,01	6			
7	UNITED	241751150,44	1961939983,24	299000029,00	2019248861,80	6 (0,90)	0,02	11000000,18	230751145,67
8	CANAL	3156189107,45	1003242728,26	3149546379,23	996000000,03	4 (0,04) 6 (1,50)	0,05	0,01	3156189107,03

Tabla 38. Problema modelo mixto. CRS_ADD_NON

4.5.1. Análisis de resultados del modelo mixto

Al igual que en el segundo modelo, en este tercero aparecen dos empresas que se muestran claramente superiores al resto, estas son SUEZ S.A y SEVERN TRENT. Hay que destacar también que SUEZ S.A se muestra implacable ya que su score dista mucho del de su perseguidor directo y por supuesto del resto de empresas, recuperándose así de un mal resultado en el problema anterior. En el problema de CRS_RAD_OUT, SUEZ S.A es proyectada sobre es proyectada sobre 5 DMU's diferentes, AMERICAN WATER WORKS COMPANY (score=261,98%) con intensidad 0,13; VEOLIA ENVIRONEMENT (score=111,52) con intensidad 0,21, XYLEM (score=284,80%) con intensidad 0,04, ESSENTIAL UTILITIES (score=147,76%) con intensidad 0,02 y CANAL ISABEL II (score=416,70%) con intensidad 0,04. Además, obtiene un score del 0,20%, mientras que SEVERN TRENT obtiene un 87,7%, que demuestra que en esta relación se encuentra perfectamente ajustado. Sobre SEVERN TRENT hay que destacar

las 6 proyecciones sobre ella, dándole un peso considerable a “Volumen de Agua Depurada”, de 0,70; respecto al 0,13 de “Volumen de Agua Abastecida. Como aspecto a mejorar, la empresa UNITED UTILITIES muestra un elevado valor en la holgura de su variable “Volumen Agua Depurada” con 11000000,24, que lo aleja notablemente de la eficiencia. En el problema CRS_RAD_IN, es SUEZ S.A obtiene un score de 24586,16% otorgándole un peso de 245,86 a los ingresos, mostrándolo como su faceta más importante en este caso. Pese a esto, ninguna empresa se proyecta sobre ella, mientras que 6 deben proyectarse sobre SEVERN TRENT, que con un 113,56% de score y dándole un peso a “Ingresos” de 1,14 se muestra mucho mas equilibrado y permite a empresas como VEOLIA ENVIRONEMENT proyectarse sobre ella con una intensidad de 4,46. En el aspecto negativo de este modelo, destacar la elevada holgura respecto a las demás DMU’s de CANAL ISABEL II en “Ingresos” con 249,42, que le hace mantenerse alejada de la eficiencia en este problema.

Por último, el modelo CRS_ADD_NON también muestra a SUEZ S.A y SEVERN TRENT como DMU’s eficientes y otorgándoles 5 y 6 Benchmarks respectivamente, confirman que estas dos empresas se muestran realmente eficientes en comparación con el resto en este modelo que abarca ambos aspectos. De nuevo, como aspectos a mejorar respecto a las empresas que no han alcanzado la eficiencia en este criterio, destacar la holgura a 11000000,18 de “Volumen Agua Depurada” de UNITED UTILITIES y los 9,28 unidades de VEOLIA ENVIRONEMENT en la variable “Volumen Agua Abastecida” que distan mucho del resto de DMU’s.

5. Conclusiones

No existe una forma absoluta de valorar la eficiencia, cuando se busca optimizar los procesos es clave aplicar una metodología de mejora continua, por ello, existen diversas formas para cualificar y cuantificar a las diferentes empresas según su forma de buscar alcanzar ciertos criterios. Pese a ello, los criterios aplicados tendrán un trasfondo subjetivo, ya que es imposible estudiar todas las variables que rodean a una empresa y le aportan valor. Incluso aunque fuese posible acumular todas las variables socioeconómicas a un problema, habría aptitudes subjetivas que otorgarían gran importancia para según que situaciones. Por ello, a la hora de realizar un estudio de análisis de eficiencia, es importante contar con una amplia variedad de datos, para enfrentar problemas desde diferentes perspectivas y así poder aportar una visión global sobre los puntos donde la empresa destaca sobre el resto y donde debe mejorar para alcanzar un nivel óptimo de calidad en sus procesos operativos.

Para ello, se han realizado hasta 9 ratios diferentes tratando de aislar diferentes combinaciones de datos que pudieran jerarquizar las diferentes empresas. Para este caso no se le ha dado un peso por encima de otro a ningún ratio, pero es habitual primar algún aspecto por encima de los demás según los criterios que se decidan para evaluar el rendimiento de las empresas. Una vez obtenido ese dato, se normaliza y se ordenan las empresas, pudiendo así valorar para ese dato, cual es más eficiente. Al tener 9 órdenes diferentes, es posible dar una opinión, aunque sesgada, por haber escogido los ratios en función a los datos que se tenían. A estos 9 rankings es posible englobarlos en uno general y justificar según los criterios elegidos la empresa más eficiente. Los criterios seleccionados han sido una combinación de datos que mezcla los aspectos sociales, ambientales y económicos por lo que se puede afirmar que AMERICAN WATER WORKS COMPANY y UNITED UTILITIES son empresas bastante eficientes y equilibradas en aspectos generales del funcionamiento operativo de una empresa del sector del agua.

Para contrastar esa afirmación, se aplica la tecnología, concretamente el software EMS, que busca entre toda las soluciones aquella proyección que mejor eficiencia resulte para las condiciones dadas. Para ofrecer también un enfoque global se utilizan 3 problemas diferentes según las variables de entrada y de salida elegidas, buscando así abarcar los ámbitos económicos, ambientales y una mezcla de ambos que permita equilibrar la empresa. En el modelo social-ambiental, tanto AMERICAN WATER WORKS COMPANY como CANAL DE ISABEL II resultaron eficientes tanto en el modelo de orientación de salida, como en el de entrada como en el no orientado, que alteraba entradas y salidas de forma independiente, demostrando así que dos empresas de volúmenes de negocio completamente diferentes pueden alcanzar la eficiencia siguiendo los criterios adecuados. Otras como SUEZ S.A o UNITED UTILITIES también mostraron buenos resultados en cuanto a eficiencia en modelos con orientación de entrada y no orientados. En el modelo económico, ESSENTIAL UTILITIES y SEVERN TRENT aparecen con el mayor nivel de eficiencia en todos los aspectos, demostrando así que no existe una empresa que sea eficiente en todos los aspectos, y que deben seguir mejorando para aumentar su desempeño pese a que estén haciendo correctamente las cosas en el apartado de negocio. Seguramente, a nivel económico ninguna de estas empresas vaya a pasar apuros debido a los grandes volúmenes que manejan, pero es responsabilidad de todos, y más concretamente de estos, mantener un procesamiento del agua sostenible que permita que sea un recurso cercano a todas las personas de la Tierra.

El tercero de los problemas era un problema mixto, la combinación de las dos variables que se estaban estudiando para cada empresa mediante los volúmenes de agua y

proporcionando como salida los ingresos, en este problema SUEZ S.A y SEVERN TRENT resultaron como las empresas más eficientes en este problema más genérico, demostrando que no por ser las que más ingresos tienen o mayores volúmenes mueven deben ser las más eficientes. Las empresas del sector del agua deben tratar de equilibrar dos aspectos tremendamente complejos, como son el ser rentable, que es la razón de ser de cualquier negocio, es decir, ser eficientes económicamente, buscando generar el máximo rendimiento a cada euro invertido; y por otro lado, al ser una empresa de servicios que utilizan recursos naturales, deben ser sostenibles ambientalmente, mediante acciones que le permitan ser eficientes energéticamente y con los recursos que emplea, evitando el malgasto y promoviendo la reutilización y el adecuado tratamiento del agua.

Es curioso como en el caso de SEVERN TRENT se muestra muy alejado de las empresas más eficientes si solo se estudian los ratios, pero al analizar los casos mediante el software EMS, comienza a destacar siendo puntera tanto en el problema de aspecto económico como en el mixto, demostrando que no existe un solo método de análisis y que lo importante es saber qué se quiere obtener del estudio y como entender la información recabada.

Finalmente, tras realizar diferentes pruebas y ensayos, se puede afirmar que para cada problema específico planteado habrá empresas que destaquen sobre otras, pero no existe un criterio global sobre el que alguna empresa sea la más eficiente en todos los aspectos. Ya sea por los criterios elegidos, por los datos tomados o por el enfoque que la propia empresa le de a cierta circunstancia, cualquier empresa puede ser eficiente en algunos de sus casos, pero difícilmente lo será en todos y respecto a todos.

Cada empresa tiene sus metodologías y sus enfoques que le permiten sobresalir en uno u otro campo, lo que se puede asegurar es que apoyar la transición tecnológica, los programas de sostenibilidad ambiental y crear una cultura de excelencia tanto en servicio al cliente como en trato al trabajador son claves para mostrar una visión positiva de cara al futuro de la empresa en todos los ámbitos.

6. Bibliografía

(American Water, 2023; American Water Company, 2022; Analisis de Eficiencia y Productividad, n.d.; AWWC, 2022; BBVA, n.d.; Canal Isabel II, 2022b, 2022a; Essential Utilities, 2021, 2022, 2023; Investing, 2023; M. SUSAN HARDWICK, n.d.; Marketscreener, 2023; Severn Trent, 2022; STATISTA, 2023; Suez S.A, 2022; tout sur moneau, 2023; United Utilities, 2019, 2022; Veolia, 2023b, 2023a; Veolia Environnement, n.d.; Xylem, 2022, 2023)

American Water. (2023, February 10). *American Water Info*.
<https://ir.amwater.com/financials/quarterly-results/default.aspx>

American Water Company. (2022). *AWK 2021 annual report*.
https://s26.q4cdn.com/750150140/files/doc_financials/2021/ar/AWK-2021-Annual-Report.pdf

Analisis de eficiencia y productividad. (n.d.).

AWWC. (2022). *American Water Works Company Report 2022*.
https://s26.q4cdn.com/750150140/files/doc_financials/2022/ar/American-Water-Works-Company-Inc-2022-Annual-Report.pdf

BBVA. (n.d.). *Medicion de eficiencia BBVA*. Retrieved March 26, 2023, from
https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2003/06/DE_2003_La_medicion_de_la_eficiencia_en_las_instituciones_Martinez_web.pdf

Canal Isabel II. (2022a). *Informe de sostenibilidad 2021 Canal de Isabel II*.
https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/8544766/2021_Resumen_Ejecutivo_Sostenibilidad+2021.pdf/

Canal Isabel II. (2022b). *Informe de Sostenibilidad Canal Isabel II 2022*.
https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/26268689/Resumen+ejecutivo+del+informe+de+sostenibilidad+2022_Canal+de+Isabel+II.pdf/df0234ec-14d8-ff67-9efa-88086ee17612?t=1685606347554

Essential Utilities. (2021). *Annual report Essential Utilities*.
<https://www.essential.co/static-files/34ecde9c-8434-4849-a903-48114b59c681>

Essential Utilities. (2022). *Annual report Essential Utilities 2022*.
<https://www.essential.co/static-files/05bdede4-fa78-49e8-a100-2f79ba3eba25>

Essential Utilities. (2023, February 6). *Essential Utilities Inc*.
<https://www.essential.co/about>

Investing. (2023, February 5). *Ratios de Veolia*.
<https://es.investing.com/equities/veolia-environ-ratios>

M. SUSAN HARDWICK. (n.d.). *American-Water-2020-Annual-Report*. Retrieved February 10, 2023, from
https://s26.q4cdn.com/750150140/files/doc_financials/2020/ar/American-Water-2020-Annual-Report.pdf

Marketscreener. (2023, February 5). *Cotización Marketscreener de American Water Works Company*.
<https://es.marketscreener.com/cotizacion/accion/AMERICAN-WATER-WORKS-COMP-2989352/>

Severn Trent. (2022). *Sustainability report 2022 Severn Trent*.
<https://www.severntrent.com/content/dam/stw-plc/sustainability2022/index.html#page=37>

STATISTA. (2023, February 5). *Valor de mercado de las empresas en compañías del agua 2022*. <https://www.statista.com/statistics/1182423/leading-water-utilities-companies-by-market-value-worldwide/#:~:text=The%20water%20company%20with%20the,Environnement%2C%20Xylem%2C%20and%20Suez.>

Suez S.A. (2022). *SUEZ S.A.* https://www.suez.com/-/media/suez-global/files/publication-docs/pdf-francais/finance/suez_investors_presentation_26-10-2022.pdf?open=true

tout sur moneau. (2023, February 6). *SUEZ S.A.* <https://www.toutsurmoneau.fr/edito/qui-sommes-nous>

United Utilities. (2019). *Water resources Management Plan 2019.* https://www.unitedutilities.com/globalassets/z_corporate-site/about-us-pdfs/wrmp-2019---2045/strategic-environmental-assessment-of-the-revised-draft-water-resources-management-plan-2019.pdf

United Utilities. (2022). *2022 annual report United Utilities.* <https://www.unitedutilities.com/globalassets/documents/pdf/united-utilities-annual-performance-report-2021-22>

Veolia. (2023a, February 5). *Info Veolia Environnement.* <https://www.veolia.es/veolia-grupo>

Veolia. (2023b, February 5). *Veolia Agua.* <https://www.veolia.es/agua>

Veolia Environnement. (n.d.). *Informe anual Veolia 21/22.* Retrieved February 10, 2023, from <https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc4206/files/document/2022/07/key-data-2021-2022-veolia.pdf>

Xylem. (2022). *Xylem 2021 sustainability report.* <https://www.xylem.com/siteassets/sustainability/2021/xylem-sustainability-report-2021.pdf>

Xylem. (2023, February 5). *Xylem.* <https://www.xylem.com/es-es/>