


# Eficiencia técnica y productividad en el sector agua de México con Análisis Envolvente de Datos e Índice Malmquist

**Gilberto Niebla Lizárraga**

Facultad de Ciencias Económico Administrativas de  
Mazatlán (Universidad Autónoma de Sinaloa)

 0000-0003-3686-0486

Recibido: 15 de marzo de 2025 | Aceptado: 22 de marzo de 2025 | Publicado en línea: 24 de marzo de 2025 |

**Resumen:** Este estudio analiza la eficiencia y productividad de los Organismos Operadores de Agua (OOA) en México durante el periodo 2016-2018, en un contexto donde los desafíos del sector hídrico incluyen la sobreexplotación de acuíferos, desigualdades tarifarias y baja cobertura efectiva de tratamiento. A través de las metodologías *Data Envelopment Analysis* (DEA) y el índice de Malmquist, se evaluó el desempeño técnico y la evolución de la productividad de 64 OOA, tomando en cuenta insumos como costos y número de empleados, y como producto el valor de la producción. Los resultados muestran una heterogeneidad significativa en el desempeño de los OOA. El análisis DEA reveló que la mayoría de las unidades operaban con niveles subóptimos de eficiencia técnica, atribuibles a problemas como escalas inadecuadas de operación, gestión deficiente o tecnología obsoleta. En tanto, el índice de Malmquist reflejó una ligera disminución en la productividad total de los factores, impulsada principalmente por una caída en la eficiencia técnica, pese a modestos avances tecnológicos. Los hallazgos sugieren que las diferencias en productividad responden más a factores internos organizacionales que a cambios tecnológicos a nivel sectorial. Por ello, se destaca la importancia de implementar intervenciones focalizadas que optimicen el uso de recursos, mejoren la gestión operativa y ajusten la escala de prestación del servicio. Asimismo, se recomienda que los OOA aprovechen las oportunidades tecnológicas disponibles. Finalmente, el estudio enfatiza la necesidad de análisis adicionales que exploren los determinantes contextuales de la eficiencia, como los marcos de gobernanza, inversión en infraestructura, regulación y participación comunitaria, con el fin de formular políticas que fortalezcan la sostenibilidad y el desempeño del sector agua en México.

**Palabras clave:** eficiencia técnica; productividad total de los factores; organismos operadores de agua; índice de Malmquist; gestión del agua.

**Title:** *Technical Efficiency and Productivity in Mexico's Water Sector with Data Envelopment Analysis and the Malmquist Index.*

**Abstract:** This study analyzes the efficiency and productivity of Water Utility Organizations (WUOs) in Mexico during the 2016-2018 period, in a context where water sector challenges include aquifer overexploitation, tariff inequalities, and low effective treatment coverage. Using Data Envelopment Analysis (DEA) and the Malmquist index, the technical performance and productivity evolution of 64 WUOs were evaluated, taking into account inputs such as costs and number of employees, and production value as an output. The results show significant heterogeneity in WUO performance. The DEA analysis revealed that most units operated with suboptimal levels of technical efficiency, attributable to problems such as inadequate operating scales, poor management, or obsolete technology. Meanwhile, the Malmquist index reflected a slight decline in total factor productivity, driven mainly by a drop in technical efficiency, despite modest technological advances. The findings suggest that productivity gaps are more a function of internal organizational factors than of technological changes at the sectoral level. Therefore, the importance of implementing targeted interventions to optimize resource use, improve operational management, and adjust the scale of service delivery is highlighted. Furthermore, it is recommended that water utilities take advantage of available technological opportunities. Finally, the study emphasizes the need for additional analyses that explore the contextual determinants of efficiency, such as governance frameworks, infrastructure investment, regulation, and community

## Cómo citar:

Niebla-Lizárraga, G. (2025). Eficiencia técnica y productividad en el sector agua de México con Análisis Envolvente de Datos e Índice Malmquist. *Revista Multidisciplinaria de Ciencia Básica, Humanidades, Arte y Educación*, 3(11), 44-56. DOI 10.5281/zenodo.15079173 [[.RIS](#)]

© Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

participation, in order to formulate policies that strengthen the sustainability and performance of the water sector in Mexico.

**Keywords:** technical efficiency; total factor productivity; water utility agencies; Malmquist index; water management.

## Introducción

México, al igual que otros países en desarrollo (Addae y Amowini, 2020), enfrenta desafíos en la medición e integración de la eficiencia en la calidad del servicio (Ananda y Pawsey, 2019; Kumar et al., 2010). La descentralización se considera una estrategia de mejora (Higuerey et al., 2017) y la necesidad de internalizar las condiciones ambientales externas (Ball et al., 2005) es clave para garantizar la sostenibilidad del sector. La calidad del servicio se convierte no solo en un factor crítico en la satisfacción del usuario (Molinos-Senante et al., 2016), sino también en la eficiencia operativa (Maziotis et al., 2017). México, al igual que otros países del mundo en desarrollo, enfrenta desafíos en los esfuerzos por medir la eficiencia e incorporar la calidad en los servicios (Ananda y Pawsey, 2019; Kumar et al., 2010). La estrategia de descentralización es vista como una estrategia para mejorar (Higuerey et al., 2017) e internalizar las externalidades del entorno que son clave para la sostenibilidad del sector (Ball et al., 2005). La calidad del servicio es vista como un aspecto muy importante en términos de satisfacción de los usuarios (Molinos-Senante et al., 2016), así como la efectividad operativa (Maziotis et al., 2017). El benchmarking que considere variables ambientales y de calidad del servicio es importante para una gestión integrada eficaz del suministro de agua en México (Guerrini et al., 2018; Walker et al., 2019).

En 2023, con una inversión total de 42 mil 091.3 millones de pesos en agua potable, saneamiento y alcantarillado, el gobierno federal mexicano pagó la mayor parte de estas actividades. La cobertura nacional de agua potable se sitúa en 96.1%, mientras que la de alcantarillado es de 95.2%. Existe una amplia red de infraestructura de tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales, pero la cobertura real de tratamiento es de apenas 67%. Sin embargo, el país tiene que hacer frente a la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación del agua y los retos de mejorar la eficiencia en el uso del agua. Las tarifas del agua varían en todo el país; mientras tanto, el gobierno federal otorga subsidios para diferentes proyectos relacionados con la mejora de esta infraestructura (CONAGUA, 2024).

Este artículo estudia la eficiencia y productividad de las OOA en México, enfocándose en el periodo 2016-2018. Para ello, se utilizaron el DEA (Data Envelopment Analysis) y el índice de Malmquist. La pregunta central de este trabajo fue cómo medir y mejorar la eficiencia y productividad en el sector de agua y alcantarillado de México. La hipótesis plantea que existen heterogeneidades significativas en la eficiencia entre las OOA, y que la productividad promedio podría haber experimentado cambios durante el periodo estudiado. Los objetivos de la investigación incluyeron medir la eficiencia técnica de las OOA, analizar las variables que afectan la productividad a lo largo del tiempo y desarrollar factores específicos que influyen en el desempeño de estas organizaciones en el caso de proporcionar evidencia empírica significativa contraria sobre la eficiencia y productividad en el sector del agua en México.

El artículo comienza con un resumen, y continúa con la introducción, que establece el contexto y establece los objetivos del estudio. A continuación, se realiza una revisión de la literatura y se describe la metodología empleada, incluyendo la DEA y el índice de Malmquist. Los resultados del análisis de datos se presentan en la sección de resultados, seguidos de una discusión e interpretación de los hallazgos. El artículo finaliza con un resumen de los principales hallazgos y sus implicaciones, junto con una lista de referencias.

En los últimos años, el campo de la eficiencia en los servicios, especialmente en agua potable, alcantarillado y saneamiento, ha experimentado un notable auge, con un creciente interés en el benchmarking y la colaboración interdisciplinaria para validar esta afirmación, como lo demuestran los estudios bibliométricos (Molinos-Senante y Sala-Garrido, 2015). Por ello, la evaluación de la eficiencia técnica y productiva se basa en modelos como el DEA y el SFA (Stochastic Frontier Analysis) (Farrell, 1957), mientras que factores como la privatización y la regulación se consideran importantes para determinar el desempeño (Suárez-Varela et al., 2016). El benchmarking, una herramienta vital para la mejora continua, establece parámetros y promueve la competencia entre las empresas de servicios públicos (Marques y De Witte, 2010). Para una evaluación integral, los análisis de eficiencia deben incorporar variables ambientales y de calidad del servicio (Lin y Berg, 2008; Ananda y Pawsey, 2019), mientras que las revisiones sistemáticas de la literatura consolidan el proceso de toma de decisiones (Tranfield et al., 2003).

La eficiencia hídrica y energética es básicamente un pilar del proceso de desarrollo sostenible a nivel internacional,

pero fuertemente impactada por una multitud de factores interrelacionados. Varios estudios académicos han identificado estos factores con la propiedad (Suárez-Varela et al., 2016), la regulación (Marques y De Witte, 2010) y la calidad del servicio (Ananda y Pawsey, 2019) como determinantes clave. Dichas eficiencias pueden medirse a través de metodologías robustas como el DEA y el SFA. El benchmarking, como señalan Marques y De Witte (2010), así como Molinos-Senante y Sala-Garrido (2015), junto con el trabajo interdisciplinario, evidenciado por Choi y Oh (2020), emergen como intervenciones clave para impulsar la mejora continua. Traer variables ambientales y de calidad del servicio es un aspecto prioritario para una evaluación completa (Ananda, 2018; Lin y Berg, 2008). Las áreas de investigación en torno a las cuales han surgido temas recurrentes incluyen el agua no contabilizada (ANC) y el impacto de la privatización y la descentralización (c y Ma, 2018; Higuerey et al., 2017). En última instancia, la eficiencia se convierte en un constructo multifacético que surge de la combinación de elementos técnicos, económicos y regulatorios, de ahí la necesidad de realizar más estudios que combinen metodologías rigurosas e incluyan variables significativas para impulsar mejoras sostenibles.

DEA es una herramienta no paramétrica desarrollada por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) y evalúa la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones que manejan múltiples insumos y resultados sin fijar precios para los resultados, lo que es relevante en aplicaciones del sector público. La flexibilidad del método se logra al no tener en cuenta funciones de producción predeterminadas (Farrell, 1957), gracias a lo cual es posible realizar evaluaciones comparativas y establecer las mejores prácticas (Marques y De Witte, 2010). Sin embargo, DEA es sensible a los valores atípicos y no tiene en cuenta los errores estadísticos (Daraio y Simar, 2007; Meeusen y van den Broeck, 1977), lo que complica la incorporación de factores externos (Daraio y Simar, 2007) y da lugar a muchas soluciones óptimas alternativas (Suárez-Varela et al., 2016). No obstante, a pesar de sus beneficios en términos de flexibilidad y evaluación comparativa, las limitaciones de DEA requieren un análisis cauteloso junto con otras técnicas.

Sin embargo, el DEA también permite evaluar la influencia de factores ambientales y la calidad del servicio en la eficiencia (Ananda, 2018; Maziotis, Molinos-Senante, y Sala-Garrido, 2017). Los investigadores han utilizado el DEA para analizar el impacto de las tarifas de agua en la reducción de fugas (Molinos-Senante et al., 2019) y para evaluar la eficiencia en el uso del agua a nivel regional (Pan et al.,

2020; Lu y Xu, 2019). La productividad se mide principalmente mediante el índice de Malmquist, que permite descomponer el cambio total de la productividad en progreso técnico y cambio de eficiencia a lo largo del tiempo (Wang et al., 2021). Sus aplicaciones van desde la evaluación de la eficiencia en el sector del agua (Ananda y Pawsey, 2019; Molinos-Senante et al., 2017) hasta el desempeño bancario (Bansal et al., 2022; Bahadji y Cheikh, 2021). El índice de Malmquist no solo identifica aumentos o disminuciones en la productividad, sino que también proporciona información sobre las fuentes detrás de esos cambios para fundamentar la toma de decisiones estratégicas y la formulación de políticas.

### Metodología

La sección de metodología describe el enfoque cuantitativo utilizado para evaluar la eficiencia y la productividad de los OOA en México. A continuación, se describen las dos herramientas principales adoptadas: el DEA y el índice de Malmquist. Mientras que el DEA mide la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones (DMU) frente a múltiples entradas y salidas, el índice de Malmquist permite el análisis de la productividad a lo largo del tiempo, descomponiendo los cambios en eficiencia técnica y cambio tecnológico.

Se optó por un método de muestreo por conveniencia debido a las dificultades para obtener información. Los datos de OOA, junto con los indicadores enumerados en la Tabla 1, se extrajeron en una hoja de cálculo. Sin embargo, las lagunas en los datos, evidenciadas en el acceso solicitado a Plataforma Nacional de Transparencia y en la información recibida del sitio web de PIGOO, limitaron considerablemente la inclusión en la muestra. Por lo tanto, solo 64 OOA contaron con todos los datos necesarios considerados en los tres años.

El DEA ha sido una herramienta esencial en la evaluación de la eficiencia entre las organizaciones, particularmente en el sector público, como lo respaldan numerosos estudios (Benito et al., 2019; Maziotis et al. 2017; Pinto et al., 2017). Se elige un modelo orientado a los insumos o a los resultados, según el contexto de la evaluación y los objetivos de esta. Los modelos orientados a los insumos son más aptos para minimizar éstos, manteniendo constantes los niveles de resultados; es particularmente el caso cuando se centra en la reducción de costos, ilustrado con el caso de las empresas de servicios de agua y sus administradores de recursos hídricos para la mejora de la eficiencia (Zschille, 2015). Numerosos estudios han demostrado la viabilidad de esta modalidad para identificar áreas de mejora en la eficiencia operativa, especialmente en términos de

gestión laboral y costos operativos (Villegas et al., 2019). Los modelos orientados a insumos también permiten incorporar variables ambientales y de calidad del servicio para ser incluidas como medidas integrales de resultados en el sentido tanto de resultados en eficiencia económica como de impactos sociales y ambientales (Ananda, 2018; Ananda y Pawsey, 2019). Se puede concluir, por supuesto, que el modelo orientado a insumos en DEA ofrece una perspectiva muy valiosa sobre la evaluación de la eficiencia en el centro de la minimización de costos y la optimización de recursos como objetivos esenciales, como lo revelan los análisis de diferentes sectores, frente a la gestión del agua, la energía y el transporte (Gidion et al., 2019). Por lo tanto, el modelo orientado a insumos ha sido adoptado en esta investigación, considerando que el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento ha funcionado como un monopolio natural en virtud de su composición.

**Tabla 1.** Lista de variables de entrada y salida del estudio DEA-Malmquist.

Variable	Definición
<b>Volumen doméstico anual de agua potable (m<sup>3</sup>)</b>	Se refiere a la cantidad total de agua potable, medida en metros cúbicos, producida por un sistema de abastecimiento en un año para satisfacer la demanda existente y futura esperada de la población (Suárez-Varela et al.; 2016; Ananda, 2018).
<b>Número de empleados</b>	Los recursos humanos siguen siendo una variable operativa clave que afecta la prestación del servicio de agua en términos de eficiencia y productividad (Suárez-Varela et al., 2016).
<b>Costos totales (pesos mexicanos)</b>	Son la medida colectiva de todos los gastos incurridos por un bien o servicio en términos de su producción, incluidos los costos fijos (CF) y los costos variables (CV) (García y Thomas, 2001). Por ejemplo, los costos totales (CT) en el sector del agua incluyen los gastos de personal, energía, productos químicos, mantenimiento, administración e inversiones de capital (Corriea y Marques, 2011).

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos constantes a escala (CRS) y los rendimientos variables a escala (VRS) son dos supuestos importantes en el análisis de la eficiencia de las industrias

de servicios del sector público, como el agua. Los CRS suponen que existe una relación proporcional entre insumos y productos, lo que significa que cualquier aumento proporcional en los insumos provocará un aumento proporcional en los productos (Charnes et al., 1978). Por lo tanto, VRS es más adecuado para los escenarios en los que no se puede esperar que las economías tengan mucha importancia en el desempeño. Por el contrario, la presencia de VRS supone que las variaciones en las economías de escala también permiten variaciones en la eficiencia.

La elección entre CRS y VRS suele depender de la situación y el objetivo del estudio. Siempre que un analista tenga razones para esperar que el desempeño no se vea afectado significativamente por las economías de escala, los CRS pueden aplicarse a la medición de la eficiencia. Alternativamente, si el analista cree que las economías de escala pueden variar y realmente afectar la eficiencia, entonces los VRS son más apropiados (Molinos-Senante et al., 2018). En el sector del agua potable, alcantarillado y saneamiento, por ejemplo, el VRS parecería ser más apropiado para medir la eficiencia de las empresas que operan en distintas escalas, ya que las economías pueden diferir sustancialmente entre empresas pequeñas y grandes (Ferro et al., 2014).

Además, el Índice de Malmquist es una herramienta necesaria para medir el cambio en la dinámica de la productividad, permitiendo descomponer el cambio de productividad total en cambio técnico y cambio de eficiencia a lo largo del tiempo (Wang et al., 2021). Las aplicaciones del índice abarcan muchas disciplinas: desde el análisis de la eficiencia del sector del agua (Ananda y Pawsey, 2019; Molinos-Senante et al., 2017) hasta la evaluación de la eficiencia bancaria (Bansal et al., 2022; Bahadji y Cheikh, 2021). Este índice permite distinguir entre la mejora o la disminución de la productividad y sus causas específicas, proporcionando información crítica para la toma de decisiones estratégicas y la creación de políticas.

Para entender el CRS, Charles et al. (1978) explica que, si cambiamos las entradas en una proporción constante, la salida cambia en esa misma proporción. Matemáticamente, el retorno constante a escala, según la orientación de entrada: minimiza la proporción de entradas ponderadas a salidas ponderadas bajo la condición de que las proporciones análogas para cada DMU no sean mayores que uno. Esto se representa en la siguiente ecuación (Este concepto se utiliza para evaluar la utilidad de las DMU calculando la máxima reducción posible de entradas para el mismo nivel de salida):

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s v_r y_{rj}} \geq 1, 1, \dots, n \quad (1)$$

$v_r, v_i$

Donde:

- $x_{ij}$  representa los inputs  $i$  para los DMU  $j$ .
- $y_{rj}$  representa los outputs  $i$  para los DMU  $j$
- $v_i$  es el peso asignado a cada input  $i$ .
- $u_r$  es el peso asignado a cada output  $r$

Por otro lado, Banker et al (1984) demuestra que la formulación matemática de VRS con orientación a las entradas está asociado a un problema de programación lineal. Este problema incluye el objetivo de minimizar la relación entre una suma ponderada de entradas y una suma ponderada de salidas sujeta a la restricción adicional de que las ponderaciones sumen uno. Este supuesto establece una implicación obvia de rendimiento variable a escala, como que la salida puede no cambiar proporcionalmente con los cambios en las entradas. La fórmula es como sigue:

$$\text{MIN } h(X_0, Y_0) \quad (2)$$

sujeta a

$$hX_0 - \sum \lambda_j X_j \geq 0,$$

$$\sum \lambda_j X_j \geq Y_0,$$

$$\sum \lambda_j = 1,$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

Donde:

- $X_0$  e  $Y_0$  son los vectores de entrada y salida de la DMU evaluada.
- $X_j$  e  $Y_j$  son los vectores de entrada y salida de la  $j$ -ésima DMU.
- $\lambda_j$  es el peso asignado a la  $j$ -ésima DMU.
- $h$  es la puntuación de eficiencia de la DMU evaluada.

Para generar una nueva combinación de insumo-producto, esta formulación considera el desempeño de las otras unidades de medida de factores mientras operan

bajo el supuesto de rendimientos variables a escala para identificar un nivel de insumo mínimo necesario para sostener un nivel de producto dado.

Cave et al. (1982) expresa que el índice de Malmquist compara las cantidades de insumos y productos entre dos empresas, teniendo en cuenta las divergencias en los niveles de tecnología y producción. En esencia, el índice se define como la relación entre las funciones de distancia de las dos empresas, donde la función de distancia denota el factor de escala máximo por el cual se podría reducir el insumo en un período, dado que la empresa seguiría produciendo lo mismo que el producto que efectivamente produjo en el otro período.

Matemáticamente, el índice de entrada de Malmquist se expresa de la siguiente manera:

$$Q^k(x^l, x^k) = \frac{D^k(y^k, x^l)}{D^k(y^k, x^k)} \quad (3)$$

Donde:

$Q^k(x^l, x^k)$  es el índice de entrada de Malmquist para la empresa  $k$ .

$D^k(y^k, x^l)$  es la función de distancia para la empresa  $k$ , evaluada en el nivel de salida de la empresa  $k$  ( $y^k$ ) y el nivel de entrada de la empresa  $l$  ( $x^l$ ).

$D^k(y^k, x^k)$  es la función de distancia para la empresa  $k$ , evaluada en los niveles de entrada y salida de la empresa  $k$  ( $y^k, x^k$ ).

El índice de productividad de Malmquist se refiere generalmente a la comparación de la productividad relativa de dos empresas, independientemente del hecho de que las dos tengan tecnologías de producción o niveles de producción distintos. Es uno de los indicadores más útiles para el análisis económico y la comparación en circunstancias muy generales.

Finalmente, este estudio se desarrolló con información del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO) disponible en el portal oficial del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (<http://www.pigoo.gob.mx/>) dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para los años seleccionados: 2016, 2017 y 2018. El análisis de DEA (Multi-Stage) y DEA-Malmquist se realizó mediante el software DEAP versión 2.1. Además, el resto de los análisis estadísticos se realizaron con Rstudio y las



gráficas con Excel 2016, garantizando así un tratamiento estadístico robusto y adecuado de los datos analizados.

## Resultados

En esta sección se realiza un análisis minucioso de los datos recogidos de 2016 a 2018, mostrando inicialmente los coeficientes de correlación entre las variables de entrada (número de empleados y costes totales) y la variable de salida (valor de la producción) indicando una relación positiva muy fuerte. Posteriormente, se proporcionan las estadísticas descriptivas de dichas variables destacando la heterogeneidad y dispersión significativa de los datos. Después, se presentan los resultados del DEA por año evaluando la eficiencia técnica de los OOA y clasificándolas según sus rendimientos a escala (creciente, decreciente, constante). Posteriormente, se resumen los resultados del índice de Malmquist que mide los cambios de productividad a lo largo del tiempo incluyendo el cambio en la eficiencia técnica y el cambio en la tecnología.

El análisis del conjunto de datos combinados (2016-2018) muestra (véase tabla 2) una fuerte relación positiva entre las variables de entrada, EmplTotal y CostTotal, y la variable de salida, Vprod. Los coeficientes de correlación mayores de 0,95 indican una asociación lineal positiva muy fuerte, lo que sugiere que cuando el número total de empleados y costos aumenta, por lo general, el valor de la producción también aumentará.

Sin embargo, esa relación no se aplica perfectamente en forma lineal, lo que indica que otros factores como los cambios tecnológicos, los cambios en los precios de los recursos o las mejoras gerenciales también podrían tener un impacto en el nivel de producción. En general, el resultado justifica la necesidad de una estrategia de optimización no solo para la producción sino también en términos de una toma de decisiones acertada cuando se consideran múltiples variables en conjunto.

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación entre variables.

	2016			2017			2018		
	Em plT otal	Cos tTot al	V pr od	Em plT otal	Cos tTot al	V pr od	Em plT otal	Cos tTot al	V pr od
Em plT otal	1	0.8	0.77	1	0.7	0.74	1	0.7	0.75
Cost Tot al	0.8	1	0.96	0.77	1	0.98	0.79	1	0.98
Vpr od	0.77	0.96	1	0.74	0.98	1	0.75	0.98	1

Fuente: Elaboración propia.

Los datos mencionados en la tabla 3 ilustran una heterogeneidad considerable en las variables de entrada y salida con respecto al empleo, los costos y el valor de la producción. Un indicador de variabilidad es EmplTotal, que tiene una media de 795, con un rango máximo que se extiende desde 47 a 11.762 empleados, lo que enfatiza un grado de variabilidad organizacional. Otra dispersión significativa se observa en CostTotal, ya que su media es de 663.548.000 y varía de 6.392.000 a 13.146.500.000. Esta dispersión, también exhibida en Vprod, tiene una media de 67.123.400 pero varía de 786.240 a 1.038.820.000. Aunque una gran parte de las desviaciones típicas observadas para estas variables son muy altas (1.575 para EmplTotal, 1.566.670.000 para CostTotal y 140.062.000 para Vprod), aun así confirmarían cuantitativamente la presencia de heterogeneidad.

**Tabla 3.** Resultados de las estadísticas descriptivas de las variables de entrada y salida en los años 2016, 2017 y 2018.

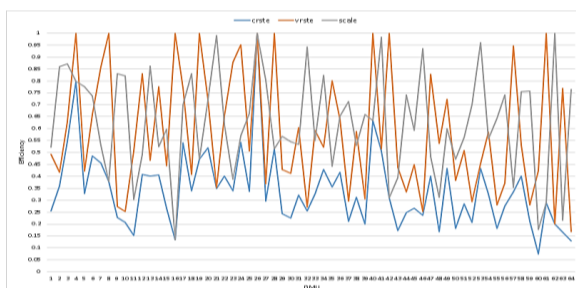
	2016	EmplTotal	CostTotal	Vprod
Media		789	\$562,061,010.00	66,009,463
Max.		11,545	\$7,074,881,678.00	1,025,231,358
Min.		50	\$10,012,854.00	2,006,580
Desviación Standard		1575.15706	\$1,102,599,723.00	140596063.3
	2017	EmplTotal	CostTotal	Vprod
Media		806	\$697,109,652.00	66,500,183
Max.		11,613	\$13,146,456,038.00	987,550,981
Min.		49	\$6,392,003.00	786,240
Desviación Standard		1580.3511	\$1,747,986,572.00	136904244.1
	2018	EmplTotal	CostTotal	Vprod
Media		791	\$731,473,695.00	68,860,524
Max.		11,762	\$12,965,836,339.00	1,038,822,462
Min.		47	\$8,959,394.00	2,022,000
Desviación Standard		1594.08719	\$1,775,892,815.00	144775290.4

Fuente: Elaboración propia.

En 2016, como se muestra en la Figura 1, el DEA midió la eficiencia de un total de 64 unidades de toma de decisiones (DMU) y se descubrió que el 63% de ellas presentaba rendimientos crecientes a escala (IRS), mientras que el 34% presentaba rendimientos decrecientes a escala (DRS) y solo el 3% presentaba rendimientos constantes a escala (CRS). Estos hallazgos implican que muchas de las DMU podían mejorar su desempeño en materia de eficiencia simplemente cambiando la escala de operaciones. Las que presentaban

IRS podían aumentar la escala, mientras que las que presentaban DRS podían reducirla. Curiosamente, las DMU con una puntuación VRSTE de 1 son las que presentan la máxima eficiencia técnica y un rendimiento óptimo para cada insumo.

**Figura 1. Puntaje de eficiencia técnica del DEA en 2016.**

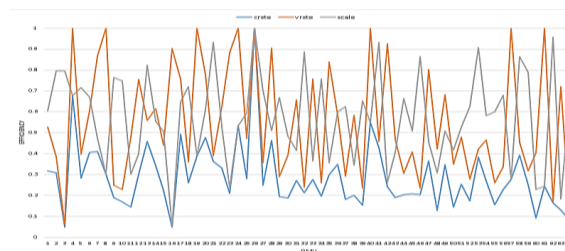


Fuente: Elaboración propia.

En 2016, la gran cantidad de DMU no alcanzó la eficiencia máxima, lo que implica que existe potencial de mejora. Esta ineficiencia puede existir por muchas razones, como tecnología obsoleta, malas prácticas de gestión o incapacidad para aprovechar las economías de escala. La mejora de la eficiencia se lograría mejor mediante la optimización de los recursos, la mejora de la tecnología y la mejora de los procesos en las unidades de transmisión de menor rendimiento. Las mejores prácticas contra las unidades de transmisión de alto rendimiento pueden aportar cierto valor a las mejores prácticas.

En 2017, la evaluación de la eficiencia técnica mediante el DEA mostró que solo una de las 64 unidades de toma de decisiones (DMU) analizadas (véase Figura 2), es decir, la DMU 26, alcanza la frontera de eficiencia con un puntaje de 1, lo que significa que tiene un uso óptimo de los recursos. La distribución de los puntajes de eficiencia de los líderes (crste) muestra una alta dispersión; la mayoría de las DMU operan por debajo de 0,5, lo que indica una ineficiencia general. La varianza en la eficiencia técnica pura (vrste) y la eficiencia de escala (scale) indica que no solo hay ineficiencia, sino que también incorpora la gestión de los recursos. La presencia significativa de rendimientos decrecientes (drs) y crecientes (irs) manifiesta que muchas DMU no han operado a su escala óptima.

**Figura 2. Puntaje de eficiencia técnica del DEA en 2017.**

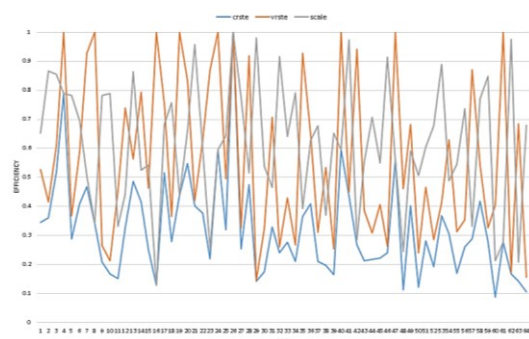


Fuente: Elaboración propia.

Las DMU con puntajes de eficiencia bajos tienen posibles causas de ineficiencia, como el uso excesivo de insumos, la producción insuficiente de productos y la ineficiencia en la gestión de procesos. Nuevamente, se debe realizar un análisis de holgura para identificar los recursos redundantes y los déficits de producción. Es probable que la comparación con la DMU 26 permita realizar milagros en la replicación de prácticas de eficiencia. La adopción de tecnologías y la mejora de la capacitación de los empleados son estrategias clave. Las marcadas diferencias entre algunos grupos de DMU (por ejemplo, aquellas con DRS o IRS) indican que esos grupos definitivamente demandarán estrategias específicas orientadas al grupo respectivo, teniendo en cuenta la modalidad operativa y la escala óptima de producción.

En 2018, la Figura 3 muestra las puntuaciones de eficiencia relacionadas con 64 unidades de toma de decisiones (DMU) representadas por el DEA. De ellas, solo una DMU (DMU 26) tiene la máxima eficiencia con una puntuación de 1, lo que indica el uso óptimo de los recursos por parte de la DMU en comparación con las demás. Las DMU muestran niveles de eficiencia inferiores a los ideales y la dispersión de las puntuaciones es significativa, desde muy bajos en la escala hasta probablemente altos cerca de 1. En general, observamos una tendencia de ineficiencia con una concentración de DMU que va de 0,2 a 0,5, lo que sugiere que una gran mayoría de las unidades pueden mejorar significativamente su rendimiento. Se encontró que otras 11 DMU eran "DRS" en relación con el rendimiento a escala, es decir, un "rendimiento a escala decreciente", mientras que solo un modelo de DMU resultó ser "-", digamos, constante. Se dice que las DMU restantes presentan "IRS", es decir, un rendimiento a escala creciente.

**Figura 3.** Puntaje de eficiencia técnica del DEA en 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Las unidades de gestión de la eficiencia cuyas puntuaciones de eficiencia se situaron en el extremo inferior, como la unidad de gestión de la eficiencia 60 (0,087) y otras por debajo de 0,2, podrían enfrentarse a considerables obstáculos operativos, ya sea en la gestión de sus recursos o en la optimización de sus procesos. Esto exige una investigación de las unidades de gestión de la eficiencia que pueden haber sufrido condiciones intermedias de subutilización de los recursos de entrada, subproducción de los resultados y uso de tecnologías obsoletas. Al iniciar un programa de mejora, las unidades de gestión de la eficiencia tendrán que identificar las fuentes específicas de esta ineficiencia y trabajar para corregirla. Esto podría suponer la reasignación de recursos, la inversión en nuevas tecnologías, la mejora de la formación del personal y el empleo de las mejores prácticas que han surgido en las unidades de gestión de la eficiencia comparativamente más eficientes. Las unidades de gestión de la eficiencia con una escala de rendimiento "DRS" deben cambiar su escala de producción para lograr la eficiencia.

A través del análisis del índice Malmquist de 64 OOA en México, en la Tabla 4 se observa que el TFPCH (Total factor productivity change) promedio es 0,909, lo que proporciona una desviación estándar de 0,315. Por lo tanto, existe una aparente ligera disminución de la productividad entre los OOA, dispersando en gran medida los niveles de rendimiento entre ellos. Este patrón general es impulsado principalmente por una disminución de la eficiencia técnica calculada por un cambio de eficiencia medio (EFFCH) de 0,871 (DE = 0,305). El cambio tecnológico (TECHCH) dio una media de 1,047 (DE = 0,123), lo que indica cierto grado de avance en la tecnología, que apenas fue suficiente para compensar las pérdidas incurridas debido a la eficiencia. Una descomposición adicional muestra que el cambio de eficiencia pura (PECH); el cambio de eficiencia de escala significa 0,893 (DE = 0,263); 0,974 (DE = 0,164), lo que

sugiere que tanto la efectividad gerencial como los cambios en la escala operativa han impulsado negativamente la dinámica de productividad de estos servicios públicos.

**Tabla 4.** Resumen del índice Malmquist.

OOA	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	0.826	1.052	0.791	1.043	0.869
2	0.754	0.995	0.763	0.988	0.75
3	0.754	1.152	0.763	0.988	0.868
4	0.93	1.038	0.921	1.01	0.965
5	1.009	0.965	1.005	1.003	0.973
6	0.839	0.928	0.821	1.022	0.779
7	0.752	0.899	0.745	1.01	0.676
8	2.149	0.91	2.18	0.986	1.956
9	0.723	0.989	0.762	0.949	0.715
10	0.671	0.971	0.737	0.911	0.652
11	0.902	0.918	0.9	1.003	0.828
12	0.923	1.106	0.924	0.999	1.021
13	1.138	1.387	1.122	1.015	1.579
14	0.666	1.276	0.815	0.816	0.849
15	0.695	0.952	0.716	0.97	0.662
16	0.691	0.802	0.767	0.901	0.555
17	1.035	0.886	1.226	0.844	0.918
18	1.058	0.99	1.252	0.845	1.048
19	0.974	1.032	1.048	0.93	1.005
20	0.667	0.979	0.643	1.038	0.652
21	0.619	1.009	0.607	1.02	0.625
22	0.554	1.075	0.49	1.131	0.596
23	0.968	0.991	0.849	1.139	0.959
24	0.973	1.046	0.836	1.163	1.018
25	0.901	1.196	0.991	0.909	1.078
26	0.752	1.226	0.745	1.01	0.922
27	0.781	1.152	0.8	0.975	0.899
28	0.683	1.276	0.678	1.008	0.871
29	1.078	1.207	1.029	1.047	1.301
30	1.125	1.229	1.083	1.039	1.383
31	1.881	0.951	1.174	1.602	1.788
32	1.093	1.125	1.161	0.941	1.23
33	1.201	1.102	1.13	1.063	1.324



34	0.775	1.134	0.907	0.855	0.878
35	0.59	1.059	0.657	0.899	0.625
36	0.612	1.129	0.668	0.916	0.691
37	0.627	1.117	0.732	0.857	0.701
38	0.701	1.055	0.799	0.877	0.74
39	0.735	0.961	0.851	0.863	0.706
40	0.732	1.052	0.796	0.921	0.77
41	0.877	0.966	1.029	0.852	0.847
42	1.052	0.888	1	1.052	0.933
43	1.074	0.985	1.309	0.82	1.058
44	1.394	0.911	1.361	1.024	1.27
45	1.455	0.923	1.396	1.042	1.342
46	1.083	1.269	1.02	1.063	1.375
47	1.349	1.139	0.815	1.655	1.537
48	0.802	1.403	0.769	1.042	1.125
49	0.836	0.988	0.82	1.019	0.826
50	0.398	0.983	0.65	0.613	0.392
51	0.498	0.986	0.645	0.772	0.491
52	0.465	1.123	0.648	0.717	0.522
53	0.99	1.032	1.106	0.895	1.021
54	1.033	1.094	1.163	0.888	1.13
55	0.993	0.987	1	0.993	0.98
56	0.712	1.035	0.653	1.091	0.737
57	0.706	0.986	0.642	1.1	0.696
58	0.681	0.947	0.731	0.932	0.646
59	0.692	0.907	0.981	0.705	0.627
60	0.666	0.953	0.925	0.72	0.635
61	0.671	1.072	0.935	0.717	0.719
62	0.573	1.046	0.559	1.025	0.599
63	0.564	0.962	0.551	1.023	0.542
64	0.658	0.944	0.63	1.045	0.621

Abbreviations: effch, technical efficiency change; techch, technological change; pech, pure efficiency change; sech, scale efficiency change; TFPCH, total factor productivity change [Abreviaturas: effch, cambio de eficiencia técnica; techch, cambio tecnológico; pech, cambio de eficiencia pura; sech, cambio de eficiencia de escala; TFPCH, cambio de productividad total de los factores].

Nota: Los promedios del índice de Malmquist son medias geométricas.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Deap v2.1.

El análisis transversal muestra que las diferencias en EFFCH y TFPCH son mucho más pronunciadas que las diferencias en TECHCH. Por lo tanto, las variaciones en la eficiencia y los cambios generales de productividad entre estas OOA serían más probablemente atribuibles a factores internos específicos de la organización que a cambios tecnológicos a nivel sectorial. Esto subraya además la importancia de factores endógenos, como la eficacia de la gestión de los servicios públicos, las prácticas operativas y el mantenimiento de la infraestructura, para definir los resultados de productividad en el sector público de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Si bien el progreso tecnológico es evidente, indica posibles dificultades para su adopción, adaptación o uso eficaz en estas entidades de servicio público, así como la imposibilidad de traducir dicho progreso en una mayor eficiencia técnica.

El análisis implica el uso de intervenciones específicas para mejorar la productividad de las OOA, concentrándose principalmente en mejorar la eficiencia técnica. Las intervenciones prioritarias incluyen la utilización de recursos, la eficacia administrativa y operativa, y la escala operativa acorde con el nivel más eficiente de prestación del servicio. Dada la naturaleza tecnológica del sector, estas empresas públicas deben aprovechar las oportunidades que mejor aprovechen los avances tecnológicos para aumentar su productividad. Análisis adicionales deben examinar los determinantes situacionales precisos de las diferencias en la eficiencia: marcos de gobernanza, inversión en infraestructura, efectos regulatorios o participación comunitaria, para así generar evidencia sobre las opciones políticas y de gestión para fortalecer el desempeño de los servicios públicos de agua y alcantarillado.

## Discusión

Los resultados del análisis de la DEA revelaron que un número significativo de OOA no alcanzaron su máxima eficiencia durante el período considerado, de 2016 a 2018. Diversos factores podrían haber causado esta ineficiencia, como el tamaño, obsolescencia tecnológica, la implementación de malas prácticas de gestión y la incapacidad de aprovechar las economías de escala. Asimismo, el análisis del índice de Malmquist indicó una ligera disminución en la productividad de los OOA durante el mismo período, principalmente debido a una

disminución de la eficiencia técnica más que a cambios tecnológicos.

Las variaciones identificadas en eficiencia y productividad entre las OOA indican que los factores determinantes del rendimiento se centran más en el ámbito interno de las organizaciones que en el cambio tecnológico a nivel sectorial. Esto pone en tela de juicio la eficiencia en la gestión de servicios, las prácticas operativas adoptadas y el mantenimiento de la infraestructura actual como predeterminantes de los niveles de productividad. Algunos perciben que ciertas tecnologías podrían haberse vuelto obsoletas, pero los problemas de adopción, adaptación o uso efectivo dentro de las entidades tienen un impacto positivo limitado cuando existen.

El estudio, en estas circunstancias, reitera la necesidad de considerar intervenciones específicas y focalizadas para mejorar la productividad de las OOA, con especial énfasis en la eficiencia técnica. Se debe priorizar el uso eficiente de los recursos disponibles, la mejora de la gestión y la eficacia operativa, y que la escala de las operaciones se ajuste al nivel más eficiente de prestación del servicio. Más importante aún, el análisis subraya la necesidad de que las empresas públicas aprovechen las oportunidades tecnológicas, y recomienda un análisis más profundo de los determinantes situacionales de las variaciones observadas en la eficiencia, incluyendo los mecanismos de gobernanza, las inversiones en infraestructura, los impactos regulatorios y la participación comunitaria.

## Conclusiones

El estudio evaluó la eficiencia y la productividad de los OOA en México entre 2016 y 2018 mediante el DEA y el índice de Malmquist. Los resultados indicaron una fuerte correlación positiva entre las variables de entrada (empleados y costos) y la variable de salida (valor de la producción). Sin embargo, se observó una heterogeneidad significativa en la eficiencia de las OOA, mientras que el análisis de Malmquist mostró una ligera disminución de la productividad promedio durante el período de este estudio.

El análisis de la DEA mostró que una proporción significativa de las OOA no alcanzó la eficiencia plena, lo que indica que existe margen de mejora en la gestión de recursos y la adopción de buenas prácticas. La disminución de la productividad promedio se atribuyó principalmente a la disminución de la eficiencia técnica, lo que sugiere que factores internos de las organizaciones, como las prácticas de gestión y

operativas, influyeron con mayor fuerza que los cambios tecnológicos.

El estudio subraya la necesidad de intervenciones específicas para mejorar la eficiencia técnica en las OOA, como la optimización de recursos, la mejora de la eficiencia administrativa y operativa, y el ajuste de la escala operativa. Se hace hincapié en que las empresas públicas aprovechen las herramientas tecnológicas para mejorar su productividad.

Finalmente, se deben realizar análisis adicionales para identificar los determinantes situacionales específicos de las diferencias en la eficiencia (marcos de gobernanza, inversión en infraestructura, efectos regulatorios y participación comunitaria), con el fin de generar evidencia que fortalezca el desempeño de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento en México.

## Referencias

- Addae, E. A. y Amowini, N. (2020). Assessment of water use efficiency in sub-Sahara Africa: Application of the Malmquist productivity index. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 7, 66-78. <https://doi.org/10.32628/IJSRST20766>
- Ananda, J. (2018). Productivity implications of the water-energy-emissions nexus: An empirical analysis of the drinking water and wastewater sector. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1097-1105. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.145>
- Ananda, J. y Pawsey, N. (2019). Benchmarking service quality in the urban water industry. *Journal of Productivity Analysis*, 51(1), 55-72. <https://doi.org/10.1007/s11123-019-00545-w>
- Bahadji, K. y Cheikh, S. (2021). Measurement of the Productivity of Algerian Banks: Using DEA-Based Malmquist Productivity Index Approach. *Journal of Economic Integration*, 9(2), 607-620. <https://asjp.cerist.dz/en/article/160802>
- Ball, E., Färe, R., Grosskopf, S. y Zaim, O. (2005). Accounting for externalities in the measurement of productivity growth: the Malmquist cost productivity measure. *Structural change and economic dynamics*, 16(3), 374-394. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2004.04.008>
- Banker, R.D., Charnes, A. y Cooper, W.W., (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 48-58. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>

- Bansal, P., Kumar, S., Mehra, A. y Gulati, R. (2022). Developing two dynamic Malmquist-Luenberger productivity indices: An illustrated application for assessing productivity performance of Indian banks. *Omega*, 107, 102538. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102538>
- Bansal, P., Kumar, S., Mehra, A. y Gulati, R. (2022). Developing two dynamic Malmquist-Luenberger productivity indices: An illustrated application for assessing productivity performance of Indian banks. *Omega*, 107, 102538. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102538>
- Benito, B., Faura, U., Guillaumon, M. D. y Ríos, A. M. (2019). The efficiency of public services in small municipalities: The case of drinking water supply. *Cities*, 93, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.016>
- Caves, D. W., Christensen, L. R. y Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1393-1414. <https://doi.org/10.2307/1913388>
- Charnes, A., Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Charnes, A., Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Choi, H.D. y Oh, D.H. (2020). The importance of research teams with diverse backgrounds: research collaboration in the Journal of Productivity Analysis. *J. Prod. Anal.*, 53(1), 5 - 19. <https://doi.org/10.1007/s11123-019-00567-4>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento, edición 2024*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/960719/DSAPAS-2024-c.pdf>
- Daraio, C., Simar, L., (2005). Introducing environmental variables in nonparametric frontier models: a probabilistic approach. *J. Prod. Anal.* 24(1), 93-121. <https://doi.org/10.1007/s11123-005-3042-8>
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 120(3), 253-281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Ferro, G., Lentini, E.J., Mercadier, A.C. y Romero, C.A. (2014). Efficiency in Brazil's water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators. *Utilities Policy* 28, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2013.12.001>
- Gidion, D.K., Hong, J., Adams, M.Z. y Khoveyni, M., (2019). Network DEA models for assessing urban water utility efficiency. *Utilities Policy* 57, 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.02.001>
- Guerrini, A., Molinos-Senante, M. y Romano, G., (2018). Italian regulatory reform and water utility performance: an impact analysis. *Utilities Policy*, 52, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.03.005>
- Higuerey, A., Trujillo, L. y González, M.M., (2017). Has efficiency improved after the decentralization in the water industry in Venezuela? *Utilities Policy*, 49, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.05.003>
- Kim, C. y Kim, Y. (2021). Case Study of Water-related Efficiency and Productivity Analysis. In *2021 21st ACIS International Winter Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD-Winter)* (pp. 136-141). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SNPDWinter52325.2021.00037>
- Kumar, S. y Managi, S., (2010). Service quality and performance measurement: evidence from the Indian water sector. *Int. J. Water Resour. Dev.* 26(2), 173-191. <https://doi.org/10.1080/07900621003655726>
- Lin, C. y Berg, S.V. (2008). Incorporating service quality into yardstick regulation: an application to the Peru water sector. *Review of Industrial Organization* 32(1), 53-75. <https://doi.org/10.1007/s11151-008-9160-5>
- Lu, X. y Xu, C. (2019). The difference and convergence of total factor productivity of inter-provincial water resources in China based on three-stage DEA-Malmquist index model. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 22, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2019.01.019>
- Marques, R.C. y De Witte, K., (2010). Towards a benchmarking paradigm in the European water and sewerage services. *Public Money Manage*, 30(1), 42-48. <https://doi.org/10.1080/09540960903492364>
- Maziotis, A., Molinos-Senante, M., y Sala-Garrido, R. (2017). Assessing the impact of quality of service on the productivity of water industry: A Malmquist-Luenberger approach for England and Wales. *Water Resources Management*, 31, 2407-2427. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1395-6>
- Meeusen, W. y Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic*

- Review, 18(2), 435-444.  
<https://doi.org/10.2307/2525757>
- Molinos-Senante, M., Maziotis, A., Mocholí-Arce, M. y Sala-Garrido, R. (2016). Accounting for service quality to customers in the efficiency of water companies: evidence from England and Wales. *Water Policy*, 18, 513-532.  
[https://doi.org/10.2166/wp.\(2015\).062](https://doi.org/10.2166/wp.(2015).062)
- Molinos-Senante, M., Maziotis, A. y Sala-Garrido, R. (2017). Assessment of the total factor productivity change in the English and Welsh water industry: A Färe-primont productivity index approach. *Water Resources Management*, 31, 2389-2405.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-016-1346-2>
- Molinos-Senante, M., Porcher, S. y Maziotis, A. (2018). Productivity change and its drivers for the Chilean water companies: a comparison of full private and concessionary companies. *J. Clean Prod.* 183, 908-916. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.227>
- Molinos-Senante, M. y Sala-Garrido, R. (2015). The impact of privatization approaches on the productivity growth of the water industry: a case study of Chile. *Environmental Science & Policy*, 50, 166-179.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.02.015>
- Molinos-Senante, M., Villegas, A. y Maziotis, A. (2019). Are water tariffs sufficient incentives to reduce water leakages? An empirical approach for Chile. *Utilities Policy*, 61, 100971.  
<https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100971>
- Pan, Z., Wang, Y., Zhou, Y. y Wang, Y. (2020). Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis. *Applied Water Science*, 10(6), 1-11.  
<https://doi.org/10.1007/s13201-020-01223-1>
- Pinto, F.S., Simoes, P. y Marques, R.C. (2017). Water services performance: do operational environment and quality factors count? *Urban Water Journal*, 14(8), 773-781.  
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1254254>
- See, K. F., y Ma, Z. (2018). Does non-revenue water affect Malaysia's water services industry productivity?. *Utilities Policy*, 54, 125-131.  
<https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.04.006>
- Suárez-Varela, M., García-Valiñas, M.A., González-Gómez, F. y Picazo-Tadeo, A.J. (2016). Ownership and performance in water services revisited: does private management really outperform public? *Water Resources Management*, 31(8), 2355-2373.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-016-1495-3>
- Tranfield, D., Denyer, D. y Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal Management*, 14, 207-222.  
<https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Villegas, A., Molinos-Senante, M. y Maziotis, A. (2019). Impact of environmental variables on the efficiency of water companies in England and Wales: A double-bootstrap approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31014-31025. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06238-z>
- Walker, N. L., Norton, A., Harris, I., Williams, A. P. y Styles, D. (2019). Economic and environmental efficiency of UK and Ireland water companies: Influence of exogenous factors and rurality. *Journal of Environmental Management*, 241, 363-373.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.093>
- Wang, C. N., Nguyen, T. L., Dang, T. T. y Bui, T. H. (2021). Performance evaluation of fishery enterprises using data envelopment analysis—A Malmquist model. *Mathematics*, 9(5), 469.  
<https://doi.org/10.3390/math9050469>
- Zschille, M. (2015). Consolidating the water industry: An analysis of the potential gains from horizontal integration in a conditional efficiency framework. *Journal of Productivity Analysis*, 44, 97-114.  
<https://doi.org/10.1007/s11123-014-0407-x>

#### Anexo 1. Lista de OOA y su ubicación.

DMU	OOA	Ciudad
1	CAEV	Acajucan
2	SIMAS	Acuña
3	OOMAPAS	Agua Prieta
4	CCAPAMA	Aguascalientes
5	SOAPAMA	Atlixco
6	DH	Cancún
7	JMAS	Chihuahua
8	SACMEX	CDMX
9	DAPA	Ciudad Valles
10	HIDROSISTE MA	Córdoba
11	JUMAPAC	Cortazar
12	CAEV	Cosamaloapan
13	JMAS	Cuauhtémoc
14	SAPAC	Cuernavaca
15	JAPAC	Culiacán Rosales
16	DAPAS	Ebano
17	CEA	Empalme
18	SIAPASF	Fresnillo
19	SIAPA	Guadalajara

20	AGUAH	Hermosillo
21	CEA	Heroica Guaymas
22	SOAPAP	Heroica Puebla De Zaragoza
23	CAPA	José María Morelos
24	JMAS	Juárez
25	SAPAS	La Piedad de Cabadas
26	SAPALAGOS	Lagos De Moreno
27	SAPAL	León
28	JAPAMA	Los Mochis
29	JAD	Matamoros
30	SAPSAM	Matehuala
31	JUMAPAM	Mazatlán
32	OPDAPAS	Metepec
33	CESPM	Mexicali
34	CMAA	Minatitlán
35	SADM	Monterrey
36	OOAPAS	Morelia
37	OAPAS	Naucalpan de Juárez
38	JMAS	Nuevo Casas Grandes
39	CAASIM	Pachuca de Soto
40	SIMAS	Parras de la Fuente
41	SIMAS	Piedras Negras
42	SIMAPARG	Río Grande
43	SIMAS	Sabinas
44	SAPAM	San Cristóbal de las Casas
45	SAPAF	San Francisco del Rincón
46	JAPAM	San Juan del Río
47	SOSAPATEX	San Martín Texmelucan de Labastida
48	SOSAPACH	San Pedro Cholula
49	CEA	Santiago de Querétaro
50	SAPAS	Silao
51	COMAPA ZONA CONURBADA	Tampico
52	CESPTE	Tecate
53	OOSAPAT	Tehuacán
54	CESPT	Tijuana
55	OPDM	Tlalnepantla de Baz
56	AYST	Toluca
57	SMAPAU	Uriangato

58	CAPASU	Uruapan
59	OROMAPAS	Valle de Banderas
60	ODAPAS	Valle de Bravo
61	CEAS	Villahermosa
62	JIAPAZ	Zacatecas
63	SOSAPAZ	Zacatlán
64	CAPAZ	Zihuatanejo