



Eficiencia de las sanciones por descargas de aguas residuales en Michoacán, México (2022). Un estudio a través del Análisis Envolvente de Datos (DEA) con presencia de *bad outputs*

Efficiency of Wastewater Discharge Sanctions Discharges in Michoacán, México (2022). A Study Using Data Envelopment Analysis (DEA) with the Presence of Bad Outputs

 América Ivonne Zamora Torres^a

 José Sergio Pérez Galindo^a

 Casimiro Leco Tomás^a

^a Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

Cómo citar: Zamora Torres, A. I., Pérez Galindo, J. S., & Tomas, C. L. Eficiencia de las sanciones por descargas de aguas residuales en Michoacán, México (2022). Un estudio a través del Análisis Envolvente de Datos (DEA) con presencia de "bad outputs". *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (16), A-002. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202502.A002>



Resumen: El objetivo del presente trabajo es calcular el grado de eficiencia de las sanciones por descargas de aguas residuales implementadas por la CONAGUA en el estado de Michoacán, México, durante el año 2022, a través del Análisis Envolvente de Datos. Lo anterior, debido al alto grado de contaminación que generan las actividades industriales y público urbano, que pone en duda el funcionamiento del mecanismo coercitivo de la Ley de aguas nacionales vigente. La investigación se realizó con rendimientos variables a escala, orientación al *input* y con presencia de *bad output*. Los resultados muestran que Michoacán está ubicado en un nivel subóptimo intermedio, evidenciando áreas de mejora para lograr un menor porcentaje de agua fuera de la norma oficial mexicana, al margen de un incremento de agua de buena calidad en cuerpos receptores superficiales.

Palabras clave: Aguas residuales. Sanciones económicas. Análisis Envolvente de Datos (DEA). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Inputs, Outputs, Bad outputs. Michoacán, México.

Abstract: The objective of this study is to calculate the efficiency level of the sanctions for wastewater discharges implemented by CONAGUA in the state of Michoacán during fiscal year 2022, using Data Envelopment Analysis (DEA). This research is motivated by the high level of pollution generated by industrial and urban public activities, which casts doubt on the effectiveness of the coercive mechanism established by the current National Water Law. The analysis was conducted under variable returns to scale, input orientation, and with the presence of bad outputs. The results show that Michoacán is positioned at an intermediate efficiency level, highlighting areas for improvement to achieve a lower percentage of water that fails to meet the Mexican official standards, alongside an increase in the volume of good-quality water in surface receiving bodies.

Keywords: Wastewater. Economics Penalties. Data Envelopment Analysis (DEA). National Water Commission (CONAGUA). Inputs-Outputs-Bad outputs. Michoacan, Mexico.

1. Introducción

La situación actual de los recursos hídricos en México se agudiza día a día. Su aprovechamiento excesivo, derivado de un aumento poblacional que demanda bienes y servicios, aunado a un problema de contaminación por descargas de aguas residuales, ha provocado el deterioro no solo ambiental, sino también social, económico y de salud pública.

De cara a esta problemática global, se han celebrado convenciones internacionales sobre medioambiente, como Estocolmo 1972, Río de Janeiro 1992 (sobre desarrollo sostenible), Johannesburgo 2002 y la Agenda 2030 (Eschenhagen, 2007), donde los Estados parte se han comprometido a generar soluciones y acciones homogéneas de tipo regulatoria, técnica, tecnológica y de políticas públicas que mitiguen el escenario ambiental e hídrico que se vive; sin embargo, los datos duros muestran que dichas acciones no han causado los efectos esperados.

En México, la agenda de las entidades federativas se ha preocupado por la disponibilidad y abastecimiento del recurso hídrico, dejando en un plano secundario el control y regulación de las aguas residuales, a pesar de que las descargas en los cuerpos receptores comprometen la cantidad y calidad del agua para el uso público urbano y otras actividades económicas.

El caso de Michoacán no es la excepción. Pese a que es uno de los estados del país más ricos ambientalmente, en los últimos años ha sido víctima —a causa de las descargas de aguas residuales— de la degradación de los cuerpos receptores superficiales, como el lago de Pátzcuaro y el lago de Cuitzeo, que fungen como la principal fuente de abastecimiento

de sus respectivas zonas y, a la par, son objeto de agresiones contaminantes por núcleos urbanos y actividades industriales.

Este problema ambiental, protagonizado por la inobservancia de la legislación hídrica, exhibe un modelo de sanción frágil que impide adherirse a la ley ambiental. Si bien la normatividad en materia de descargas de aguas en México es amplia y los permisos, junto con la definición de los límites máximos permisibles de cada contaminante¹, representan la base para proteger los sistemas acuáticos (Xenarios & Bthitas, 2012), las sanciones son el instrumento de control más importante, ya que se implementan después de que las medidas de prevención y control no han funcionado, buscando disuadir la conducta contaminadora (lejos de recaudar) y aminorar la inobservancia de la Ley de aguas nacionales y la norma oficial mexicana (García, 2018).

Desafortunadamente, este instrumento de control *a posteriori*, aplicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)², ha tenido resultados subóptimos debido al grado de contaminación de los cuerpos de agua superficiales, que son los más susceptibles a los vertidos industriales y públicos urbanos, dada la cercanía y facilidad de sus descargas.

Considerando la situación actual de los cuerpos de agua superficiales en Michoacán, es imperativo evaluar el papel que juega el medio coactivo de la Ley de aguas nacionales. Por ello, el objetivo del presente trabajo es determinar el grado de eficiencia de las sanciones por descargas de aguas residuales en la entidad durante el año 2022, utilizando un modelo no paramétrico conocido como *Data Envelopment Analysis* (DEA) o Análisis de Datos Envolvente con *bad outputs*.

De tal manera, esta investigación se divide en seis secciones. La primera abarca una introducción al tema a investigar, planteando el objetivo de la misma; en la segunda se realiza un diagnóstico de las aguas residuales en México y Michoacán; en la tercera se atenderá el soporte teórico de las aguas residuales y su regulación con enfoque en las sanciones; en la cuarta se contempla la metodología a emplear para lograr el objetivo planteado, así como el método de selección de variables, mediante una revisión literaria de estudios de similar contenido y un enfoque empírico; en la quinta sección se presentan los resultados obtenidos del modelo aplicado; finalmente, se da cuenta de las conclusiones alcanzadas.

¹ Establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas, como lo es la NOM-001-SEMARNAT- 2021.

² Órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, encargado de administrar y cuidar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes.

2. Diagnóstico de las aguas residuales en Michoacán

El agua ha desempeñado un papel central para el desarrollo de diversas civilizaciones, las que se han beneficiado ampliamente de los servicios ambientales del agua proveniente de fuentes superficiales, por lo que se ha ejercido una influencia directa e indirecta sobre ellos y su vida acuática (Martínez et al., 2019; Brown, 2003).

Este fenómeno, que tiene que ver con el desarrollo urbano-industrial, ha inducido al aumento de la demanda del líquido y en similar proporción a la contaminación de ríos, lagos y mares, que son utilizados como drenajes urbanos e industriales mediante la descarga de aguas residuales sin tratamiento, dados los costos que implica (Durán & Torres, 2006; UNESCO, 2017). Según la CONAGUA (2015), entre el 85% y 95% de las aguas residuales a nivel global se vierten sobre cuerpos de agua superficiales sin recibir un procedimiento previo.

Las descargas de aguas residuales, que contienen parámetros físico-químico-biológicos, alteran el estado del cuerpo de agua receptor que se trate (superficial o subterránea), impidiendo, por su contenido, el aprovechamiento para su desarrollo o el uso en otras actividades. Por ello, tanto las leyes como las políticas públicas deben estar en constante evaluación y actualización, a fin de proveer una regulación, administración y cuidado del medioambiente alineada con la realidad social que prevalece, esto es, un crecimiento demográfico y actividad económica acelerados que conllevan mayores grados de contaminación (Castillo et al., 2016).

En México, aunado a un problema presupuestal que limita a la autoridad federal a ejercer sus tareas de inspección y vigilancia, la entrega desmedida de concesiones de agua y permisos de descarga de aguas residuales de tipo público urbano e industrial ha perjudicado la salud de los cuerpos de receptores superficiales.

La Tabla 1 resume la situación hídrica en México durante el periodo 2021 y 2022. En el caso de Michoacán, la Tabla 2 resume las condiciones hídricas en materia de aprovechamiento, descarga, calidad y presupuesto durante el periodo 2021 y 2022, que da muestra de la gravedad del asunto aquí planteado.

Tabla 1. Resumen hídrico en México, 2021-2022

Uso	Aguas Nacionales 2021		Descargas de aguas residuales 2021 (México)			Calidad del agua superficial - Lótico		Presupuesto (millones de pesos)
	Concesiones superficial- subterránea	Volumen (m ³ anuales)	Permisos de descarga	Anexos	Volumen de descarga (m ³ /año)	% de agua fuertemente contaminada	% de agua contaminada	
Industrial	6,184	6,501,941,578	3,109	4,537	14,019,690,841	39.13	52.17	24,921
Público urbano	123,705	13,250,856,249	4,347	10,604	5,409,274,439			
Total	129,889	19,752,797,827	7456	15141	19,428,965,280			

Uso	Aguas Nacionales 2022		Descargas de aguas residuales 2022 (México)			Calidad del agua superficial - Lótico		Presupuesto (millones de pesos)
	Concesiones superficial- subterránea	Volumen (m ³ anuales)	Permisos	Anexos	Volumen de descarga (m ³ /año)	% de agua fuertemente contaminada	% de agua contaminada	
Industrial	6,303	6,518,314,497	3,181	4,642	14,705,950,149,803	47.9	34.83	33, 916
Público urbano	123,787	13,293,006,503	4,436	10,735	5,454,761,541			
Total	130,090	19,811,321,000	7617	15377	14,711,404,911,344			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos emitidos por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua (2021, 2022), del CEFP (2022) y de fuentes internas de la Comisión Nacional del Agua.

Tabla 2. Resumen hídrico en el estado de Michoacán, 2021-2022

Uso	Aguas Nacionales 2021 Michoacán		Descargas de aguas residuales 2021 Michoacán			Calidad del agua superficial - Lótico		Presupuesto ejercido Adminitración del Agua (Clave G010) (Miles de pesos)
	Concesiones superficial-subterránea	Volumen (m ³ anuales)	Permisos	Anexos	Volumen de descarga (m ³ /año)	% de agua fuertemente contaminada	% de agua contaminada	
Industrial	200	281,797,000	67	78	160,881,070	43.79	20.62	119, 337
Público urbano	8,051	367,830,870	106	138	163,793,842			
Total	8,251	649,627,870	173	216	324,674,912			

Uso	Aguas Nacionales 2022 Michoacán		Descargas de aguas residuales 2022 Michoacán			Calidad del agua superficial - Lótico		Presupuesto ejercido Adminitración del Agua (Clave G010) Miles de pesos
	Concesiones superficial-subterránea	Volumen (m ³ anuales)	Permisos	Anexos	Volumen de descarga (m ³ /año)	% de agua fuertemente contaminada	% de agua contaminada	
Industrial	200	282,919,350	67	78	160,881,070	34.09	43.18	314, 698
Público urbano	8,067	368,986,699	107	140	164,131,339			
Total	8,267	651,906,049	174	218	325,012,409			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos emitidos por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua (2021a, 2022b) y de fuentes internas de la Comisión Nacional del Agua.

Como se ve en la Tabla 1, a nivel nacional, en el año 2021, los cuerpos receptores superficiales del país soportaron la explotación y descarga de aguas residuales en similar proporción, por un volumen de 19 billones de metros cúbicos anuales, alcanzando un 39.13% de agua fuertemente contaminada, con un presupuesto anual para la Comisión Nacional del Agua de casi 25 millones de pesos. Para el ejercicio 2022 (año en estudio), con mayor presupuesto y menor volumen de aguas residuales, se percibió un incremento de porcentaje de agua fuertemente contaminada (47%)³.

Mientras que, como se ve en la Tabla 2, en Michoacán, en 2021, tuvo lugar una presión hídrica alarmante, ya que descargó agua residual en proporción menor a la que se dio en concesión para uso industrial y público urbano (324 millones de metros cúbicos anuales); empero, registró un 43.79% de agua fuertemente contaminada, con un presupuesto ejercido de 119 mil pesos para tareas de inspección y vigilancia por la CONAGUA. El año 2022, en cambio, soportó un volumen de 325 millones de metros cúbicos anuales de descargas de aguas residuales, con un 34% de agua fuertemente contaminada y con un incremento en 43% de agua contaminada⁴. Estas variaciones porcentuales se dieron en el marco de un presupuesto de 314 mil pesos, mayor al del ejercicio inmediato anterior.

Esto implica que el manejo y control de las aguas residuales descargadas representa un desafío mayúsculo. Por ello, evaluar los programas ambientales y alcanzar su nivel óptimo, como es el caso de los medios coactivos (sanciones), de manera integral y sostenible es clave en el marco de la mejora hídrica.

3. Soporte teórico sobre las aguas residuales en México y su regulación con enfoque en las sanciones

La contaminación del agua se debe a una alteración por cambios físicos, químicos y biológicos en su calidad. Esta práctica, que con el paso de los años ha empeorado, es causada principalmente por la actividad económica del hombre, con efectos negativos en los recursos vivos y en la salud humana (Cely et al., 2023; Leyva, 2013).

La legislación hídrica vigente define a las aguas residuales como aquellas de composición variada, resultantes de los vertidos de uso público urbano, industrial, agrícola, pecuario, entre otros (artículo 3 de la Ley de aguas nacionales, 1992). Estas se clasifican en puntuales y difusas; las primeras son aquellas cuya procedencia se tiene identificada, lo que facilita su control y regulación, mientras que las difusas son aquellas que escurren sobre el suelo producto de la lluvia, que se disuelven y acarrean contaminantes naturales o producidos por el hombre (Cisneros, 2007; Aguilar et al., 2006).

³ Donde algunos de los parámetros (FLUO, CF, N_NO3, AS_TOT, CD_TOT, CR_TOT, HG_TOT o PB_TOT) excedieron los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (CONAGUA, 2023).

⁴ Donde los parámetros siguientes: ALC_TOT, COND_ELEC, DUR_TOT, SDT, FE_TOT o MN_TOT superaron los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (CONAGUA, 2023).

Dentro del primer grupo se pueden identificar las descargas municipales e industriales; además, en las descargas difusas pueden incluirse las de tipo agrícola y demás actividades económicas, cuya vigilancia y legislación resulta más compleja dada su naturaleza (Bravo et al., 2009).

La regulación de los vertidos en México se encuentra en la Ley de Aguas Nacionales, instrumento jurídico publicado en el *Diario Oficial de la Federación* en el año 1992, el cual prevé, entre otras obligaciones, contar con un permiso emitido por la CONAGUA, cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las condiciones particulares de descarga, tratar las aguas residuales, cumplir con el pago de derechos, entre otras (artículos 88 y 88 Bis, Ley de Aguas Nacionales, 1992).

Aunque la ley hídrica contempla un catálogo de obligaciones que tienen las personas físicas y morales en materia de descargas, su objetivo es cuestionable. Las sanciones, en este marco de inobservancia de la Ley de aguas nacionales, juegan un papel central; por ello es obligado revisar su comportamiento. Las sanciones deben entenderse como aquella retribución negativa o represiva de los derechos de una persona considerada responsable de la comisión de una infracción (ilícito), determinada por un órgano administrativo, previo procedimiento administrativo.

La infracción responde a una conducta por acción u omisión, marcada como antijurídica y sancionable; se trata de acción cuando se involucra un grado de voluntad y culpabilidad traducida en alevosía y dolo; y omisión, la inacción que tiene un sujeto con un deber jurídico (Gómez, 2020; Delgado, 2011).

En materia de descargas de aguas residuales, las infracciones están previstas en el aráigo 119, fracciones I y XV de la Ley de Aguas Nacionales , y se sancionan con una multa que va de los 1560-1950 a 6500-26 000 Unidades de Medida y Actualización, y se determinan en función de la gravedad del asunto, la capacidad económica del infractor y la reincidencia (artículos 120 y 121, Ley de Aguas Nacionales, 1992).

La complejidad que implica determinar algunas de las variables referidas en el plazo previsto en la Ley Federal de Procedimiento Administrativo (3 meses) obliga, en la práctica, a la Comisión Nacional del Agua (aunque goce de un grado de discrecionalidad elevado) a aplicar, sea el caso que fuere, la multa mínima al amparo de la Tesis: 2a./J. 127/99 sostenida por la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN, 1999).

La teoría económica del delito explica que un agente económico realiza un acto ilícito cuando el beneficio es mayor que la probabilidad de captura y el valor de la multa; expresada en la siguiente fórmula (Dávila, 2012).

$$b \cdot p = f$$

Donde:

f = multa

p = probabilidad de captura (que es igual al gasto de detección y sanción de infractores)

b = el beneficio ilícito

Esto es, en el caso de las descargas, que después de haber realizado un análisis de costo-beneficio, el agente económico puede optar por seguir contaminando (dado el valor de la multa o la probabilidad de captura o inspección), mejorar sus procesos productivos o echar a andar una planta tratadora de aguas residuales.

Tomando en consideración lo anterior, y ante la necesidad de evaluar el instrumento de política ambiental para aminorar o disuadir la conducta contaminadora, es menester llevar a cabo un análisis de eficiencia que permita mejorar las condiciones de los cuerpos de agua superficial y redirigir, si es el caso, el alcance de las sanciones mediante política pública.

4. Metodología para la medición de eficiencia y método de selección de variables de las sanciones por descargas de aguas residuales

La eficiencia es una medida que compara los *inputs* empleados con los *outputs* obtenidos en una relación de valores óptimos que busca la maximización de los beneficios y la minimización de los costos (Peretto, 2016; Navarro, 2005). La teoría de la eficiencia se la atribuye históricamente a Farrel, inspirado en trabajos de Koopman y Debreu, quienes dieron inicio al estudio relacionado con producción y recursos (Torres et al., 2018). A esta teoría metodológica se sumaron los trabajos de Fieldhouse y Farrel en 1962, Aignmer y Chu en 1968 y Charnes et al. en 1978 (Morán, 2018).

Existen diversos métodos paramétricos y no paramétricos para la medición de la eficiencia; el *Data Envelopment Analysis* (DEA) es un modelo no paramétrico que tiene la flexibilidad de incluir múltiples entradas y salidas, además de encontrar las unidades más eficientes a través de combinaciones lineales que dibujan una frontera.

Este tipo de modelos trabaja con rendimientos constantes a escala (CRS) y rendimientos variables a escala (VRS), recurriendo a algoritmos de programación lineal y *benchmarking*. No requiere una forma funcional (Cardona, 2020, citando a Martínez, 2003) y construye una frontera de eficiencia derivada de los datos de un conjunto de DMU, obteniendo un valor de *inputs* y *outputs* que maximizan el valor de la eficiencia de la producción, permitiendo comparar la posición del conjunto de unidades e identificar la ineficiencia de datos usados en exceso (Cooper et al., 2007; Rodríguez et al., 2022).

La programación lineal es una técnica de modelización matemática diseñada para auxiliar en la planeación de actividades y toma de decisiones respecto a la asignación de recursos, de manera óptima y eficiente (Render et al., 2012; Brenes, 2020). El *benchmarking* es aquella medida de actuación que compara cada Unidad de Toma de Decisiones (o DMU por sus siglas en inglés) homogéneas, determinando cómo las más altas lograron alcanzar dichos niveles identificando los *slack*s, que llevan a una mejora potencial (Gutiérrez, 2010). En este proceso de mejora, la selección del punto de referencia que se requiere para obtener la información de *benchmarking* sirve para evaluar el rendimiento potencial de la DMU y proporcionar información sobre cómo optimizar su rendimiento (Bogetoft & Leth, 1999).

Los rendimientos constantes a escala representan un cambio en los niveles de *inputs* proporcional a los cambios en los niveles de *outputs*, provocando que solo una DMU sea tomada como eficiente (Charnes et al., 1978). Los rendimientos variables a escala, en cambio, agregan una restricción (ver Banker et al., 1984), pese a las complicaciones que imposibilitan las DMU a no operar a escala óptima, permitiendo que una unidad ineficiente pueda compararse con las DMU de similar proporción e identificando la eficiencia técnica pura y la eficiencia a escala, desagregando la eficiencia técnica y técnica pura (Zamora & Navarro, 2014; Navarro & Delfín, 2017).

Dicho análisis no paramétrico puede ser orientado a los *inputs*, *outputs* y no orientado. El primero auxilia a que una DMU ineficiente llegue a ser eficiente, gracias a la reducción proporcional de las entradas, manteniendo el nivel actual de salidas; en el caso del modelo *output* orientado, se enfatiza en alcanzar la frontera de la eficiencia cuando las salidas de una unidad mantienen los niveles actuales de entradas (Blackburn et al., 2014). En el análisis no orientado, tanto las entradas como las salidas son controlables y buscan paralelamente aminorar los *inputs* y acrecentar los *outputs* equiproporcionalmente, llevando a medidas de eficiencia hiperbólica (Zamora & Navarro, 2014; Coll & Blasco, 2000).

Una ampliación a los modelos no paramétricos en el análisis de eficiencia es la aparición de salidas malas o *bad outputs* (Gómez & Cruz, 2024). Pittman (1983) trató esta variable mediante el cálculo de índices de productividad con ayuda de la metodología sostenida por Cave et al. (1982) y complementada con la determinación de los precios sombra (Ayvar et al., 2018).

El concepto de *bad outputs* se formalizó por Faré et al. (1989), quienes lo adaptaron a la eficiencia técnica al encontrar resultados similares a los que inicialmente difundió Pittman (1983) (Sepúlveda, 2014). El ideal en los trabajos de eficiencia con presencia de *bad outputs* se produce cuando se incrementan los *good outputs* y se reducen paralelamente los otros, gracias a las restricciones del vector *input* y la tecnología (Hernández et al., 1997; 1998; 2000).

4.1 Definición del modelo DEA: eficiencia con *bad outputs*

El modelo DEA, en el cual se sustentó la presente investigación, considerando la presencia de *bad outputs*, fue el de Rendimientos Variables a Escala (VRS), puesto que a partir de este modelo se podrá analizar cada unidad con aquellas de su tamaño y no con todas las unidades presentes en el problema (Cooper et al., 2007). El estudio, además, se orientó al *input*, ya que la finalidad es ejercer un análisis por cada unidad de DMU para verificar en qué medida fueron optimizadas las entradas, maximizando las salidas deseables y minimizando las indeseables.

La expresión matemática del modelo fue la siguiente (Seiford & Zhu, 2002):

$$Max = \phi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^j s_i + \sum_{d=1}^D s_d + \sum_{z=1}^Z s_z \right)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} + s_i^+ = x_{io} \quad i = 1, \dots, I$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{dj} + s_d^- = (1 + \phi) y_{do} \quad d = 1, \dots, D$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j d_{zj} + s_z^+ = (1 - \phi) b_{zo} \quad z = 1, \dots, Z$$

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

$$\lambda_j, s_d^-, s_i^+ \geq 0, \quad \phi \text{ sin restricción de signo}$$

Partiendo del supuesto de que $j = (1 \dots N)$ son las $nDMUs$, cada una de las cuales puede utilizar i *inputs* ($i=1, \dots, I$) para producir d *good outputs* ($d=1, \dots, D$) y z *bad outputs* (z). De tal forma que se le asigna un vector x_{ij} la cantidad de *input* i utilizado por la DMU_j , al vector y_{dj} el número de *good output* d producido por la DMU_j , y al vector d_{zj} el monto de *bad output* z producido por la DMU_j . Siendo ε una constante no-arquimediana, s la *slack* de las variables, y λ_j el vector de intensidad.

De tal forma que, al escalar, ϕ representa el máximo incremento/decremento radial para el *good* y *bad output* producidos, respectivamente, por la unidad evaluada, variando su rango entre 0 y 1; de forma que tomará valor unitario cuando la DMU sea eficiente y valores menores a 1 cuando sea ineficiente (Sueyoshi et al., 2010; Wang et al., 2013).

4.2 Selección de variables

Considerando las adversidades propias de la selección de variables en este tipo de análisis, debido a la escasez de referencias de asuntos análogos y las dificultades para la obtención de la información (Balaguer & Prior, 2009; Giménez & Prior, 2007), el presente proyecto aborda dicha problemática a través de un método deductivo-inductivo⁵, partiendo de lo teóricamente establecido a lo empírico.

La revisión teórico-literaria se centra, debido al contenido práctico y legal que posee esta investigación, en estudios de eficiencia ambiental, del sector público y eficiencia judicial. Los estudios de eficiencia ambiental buscan proteger un recurso natural o disminuir un contaminante a través de *outputs*, como calidad del recurso natural, y *bad outputs* (salidas indeseables), como parámetros químicos y biológicos. Algunos trabajos los encontramos en Arcelus & Arocena (2005), Ramanathan (2006), Wang et al. (2013), Sueyoshi & Yuan (2015), Shabani et al. (2015), Gudipudi et al. (2018) y Kutty et al. (2022).

El análisis de eficiencia en el sector público busca evaluar las funciones del Estado en su carácter de prestador de servicios y garante de derechos humanos, identificando unidades de decisión (órganos del Estado) y entradas como número de empleados y presupuesto asignado (Shu et al., 2011; Afonso et al., 2006; Herrala et al., 2012; Zamora & Navarro, 2014; Asandului et al., 2014).

Finalmente, el análisis de eficiencia judicial toma las DMU como referencia al número de tribunales de justicia, oficinas de fiscal y cortes de apelación, *inputs* como gasto total, planilla jurisdiccional, número de jueces y personal por juzgado, y *outputs* como sentencias emitidas y casos resueltos (Maia et al., 2012; García & Rosales, 2010; Urrego & Diaz, 2018; Valencia & Almanza, 2022; Falavinga & Ippoliti, 2023).

El enfoque empírico⁶, por su parte, toma en cuenta los diferentes factores prácticos que se desenvuelven en el Órgano Desconcentrado para el Control de las Descargas de Aguas Residuales, del cual se desprenden variables como servidores públicos, inspecciones, permisos de descargas de aguas residuales, permisos de hecho, impugnaciones, calidad del agua y presupuesto asignado.

A partir de la revisión literaria y análisis de los factores prácticos, así como de la información disponible, los *inputs*, *outputs* y *bad output* seleccionados son los siguientes:

⁵ Herramienta bidireccional que permite la exploración de fenómenos con la confirmación o refutación de teorías mediante la observación de fenómenos específicos para desarrollar una teoría general y, simultáneamente, a través de una revisión de principios generales para asumir conclusiones específicas (Creswell, 2004; Bazeley & Jackson, 2013).

⁶ Obtenido del ejercicio profesional ininterrumpido durante doce años en la Dirección Local Michoacán de la CONAGUA.

Tabla 3. Selección de variables inputs, outputs y bad output del modelo DEA

Inputs	Definición	Fuente
Inspecciones	Número de diligencias que se materializan mediante actas en el ámbito de competencia territorial, ya sean Direcciones locales y Organismos de cuenca de la CONAGUA.	CONAGUA: https://www.gob.mx/conagua/es/documentos/derechos-y-obligaciones-de-los-usuarios-ante-una-visita-de-inspeccion
Servidores públicos (inspectores)	Número de trabajadores técnicos certificados, que desahogan visitas de inspección para verificar descargas de aguas residuales en cuerpos de propiedad nacional adscritos a las diferentes Direcciones Locales y Organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua.	Fuentes internas de la CONAGUA
Sanciones	Número de multas impuestas por las diferentes Direcciones Locales y Organismos de Cuenca de la CONAGUA, por violación al artículo 119 fracción I y XV de la Ley de Aguas Nacionales.	Sistema de Inicios de Procedimientos Administrativos de la CONAGUA (SIPA)
Ouputs	Definición	Fuente
Porcentaje de agua libre de contaminación	Calidad del agua superficial de sistemas lóticos, provenientes de descargas de aguas residuales de tipo público urbano e industrial dentro de los límites máximos permisibles de los diferentes parámetros físico-químicos previstos en la NOM-001-SEMARNAT-2021.	CONAGUA: https://www.gob.mx/conagua/es/documentos/derechos-y-obligaciones-de-los-usuarios-ante-una-visita-de-inspeccion
Bad output	Definición	Fuente
Porcentaje de agua fuera de la Norma Oficial Mexicana (NOM)	Calidad del agua superficial de sistemas lóticos, provenientes de descargas de aguas residuales de tipo público urbano e industrial, fuera de los límites máximos permisibles de los diferentes parámetros físico-químicos previstos en la NOM-001-SEMARNAT-2021.	CONAGUA: https://www.gob.mx/conagua/es/documentos/derechos-y-obligaciones-de-los-usuarios-ante-una-visita-de-inspeccion

Fuente: Elaboración propia con base en la literatura revisada.

5. Resultados

Las estimaciones alcanzadas por el modelo DEA, expresadas en la Tabla 1, muestran que solo 9 de las 32 oficinas de la CONAGUA con residencia en Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Colima, Nuevo León, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas obtuvieron la unidad en el nivel de eficiencia; esto implica que los insumos (sanciones) por descargas de aguas residuales fueron aplicados de manera óptima para alcanzar un porcentaje de agua libre de contaminación (cumplen con los límites máximos en la Norma Oficial) en cuerpos receptores superficiales, a la par con un menor porcentaje de agua fuera de la Norma Oficial (que rebasan los parámetros físico-químicos).

Estados como Baja California, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Michoacán y Nayarit tuvieron calificación subóptima intermedia (.9 - .6), es decir, con áreas de mejora en la implementación de sanciones y otros insumos para alcanzar el óptimo en calidad del agua por descargas de tipo industrial y público urbano. Se pueden identificar en un nivel

subóptimo grave (en términos de calidad del agua por descargas que rebasan los límites permitidos en la Norma Oficial Mexicana, por deficiente implementación de medios coactivos por la CONAGUA) en los estados de Campeche, Tlaxcala, Veracruz, Tabasco y Oaxaca, dado que obtuvieron un coeficiente entre .6 y .4.

Finalmente, Direcciones Locales y Organismos de Cuenca de la CONAGUA con sede en Chiapas, Edo de México, Guanajuato, Tabasco, Yucatán, San Luis Potosí, Quintana Roo, Querétaro, Puebla, Morelos y la CDMX (con la calificación más baja: .10), se encuentran en un nivel subóptimo crítico debido al porcentaje de agua fuera de la Norma Oficial Mexicana, traducido en una deficiente gestión integral e implementación de sanciones, con un coeficiente menor a .4 en términos de eficiencia.

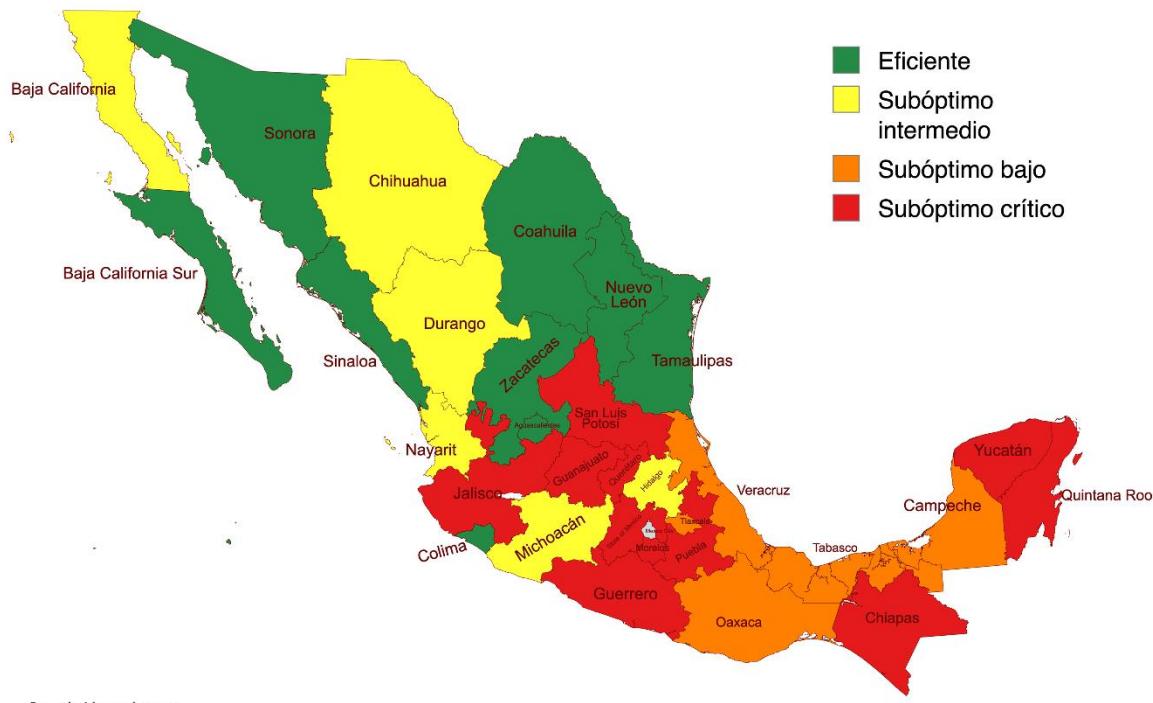
Tabla 4. Resultados de eficiencia en la implementación de sanciones por descargas de aguas residuales por entidad federativa

DMU	Score	DMU	Score
Aguascalientes	1.00	Morelos	0.22
Baja California	0.65	Nayarit	0.66
Baja California Sur	1.00	Nuevo León	1.00
Campeche	0.45	Oaxaca	0.41
Chiapas	0.29	Puebla	0.26
Chihuahua	0.61	Querétaro	0.34
Ciudad de México	0.10	Quintana Roo	0.32
Coahuila	1.00	San Luis Potosí	0.30
Colima	1.00	Sinaloa	1.00
Durango	0.68	Sonora	1.00
Estado de México	0.37	Tabasco	0.56
Guanajuato	0.34	Tamaulipas	1.00
Guerrero	0.35	Tlaxcala	0.51
Hidalgo	0.76	Veracruz	0.54
Jalisco	0.38	Yucatán	0.26
Michoacán	0.65	Zacatecas	1.00

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del análisis de eficiencia DEA utilizando el software MaxDea.

Al realizar el cálculo de eficiencia, se pudo detectar que la mayoría de los estados con índices igual a 1 están ubicados en la parte norte del país, sitio donde, si bien existe una carga poblacional e industrial más alta y un nivel de desarrollo económico elevado, paradójicamente se encuentra en una zona hidrológica-administrativa con menor disponibilidad de agua que otros estados del centro y sur, lo que demuestra que las Direcciones locales y el Organismo de Cuenca de la CONAGUA fueron más eficientes en la utilización de sus entradas y reducción del *bad output*. La Figura 1 muestra la ubicación de mérito.

Figura 1. Benchmarking por entidad federativa



Created with mapchart.net

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del análisis de eficiencia DEA.

El caso de Michoacán, con un score intermedio (.65), sugiere que podría alcanzar la eficiencia si se utilizan los insumos, como Colima y Tamaulipas, con un *benchmark lambda* de 0.077405 y 0.922595, respectivamente.

Las inspecciones, de acuerdo con el cálculo, tienen un *slack* negativo, lo que indica que la Dirección Local de la CONAGUA realizó más visitas de las necesarias sin lograr los resultados esperados. En relación a la entrada «inspectores» y al valor *slack* (-0.0774), sugiere un exceso en el número de inspectores, mala distribución o mal desempeño de los servidores públicos. Las multas, por su parte, con un *slack* de -3.85, muestran que se están implementando más de las necesarias, por lo que debe reducirse a 1.15.

Presupuestalmente hablando, el valor de holgura en cero habla de un gasto ajustado y no requiere cambios. Finalmente, respecto al *bad output*, la proyección sugiere que debe reducirse en un 2.86% para alinearse con estándares de mejor desempeño y eficiencia.

La entidad, a pesar de que obtuvo un score intermedio, es susceptible de mejoras administrativas y legales que permitan elevar el *output* (porcentaje de agua libre de contaminación) y disminuir el *bad output* (reducir las descargas de aguas residuales que incumplen con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana). La utilización de *inputs*,

según sus *slack*s, propone que, con igual presupuesto, pero menor número de multas, inspecciones y servidores públicos se hubiese alcanzado un nivel de eficiencia igual que otros estados. Sin embargo, el score en *dual price* y *projections* apunta a que la entidad debe incrementar en 2 el número de inspectores para que sinérgicamente las inspecciones y sanciones también lo hagan y se pueda lograr el nivel de eficiencia de los estados de Colima y Tamaulipas, con un impacto positivo en cuerpos receptores superficiales del estado, a pesar del volumen y calidad de aguas residuales descargadas.

6. Conclusiones

El control de la contaminación por descargas de aguas residuales es clave en la gestión integral de los recursos hídricos, ya que garantiza su cantidad y calidad en los demás usos. Para conocer el grado de eficiencia en el tema, se realizó un estudio no paramétrico con rendimientos variables a escala, orientado al *input* y con presencia de *bad output*, que permitió conocer en qué medida la implementación de sanciones por las oficinas de la CONAGUA, con sede en las 32 entidades, ha mejorado la calidad del agua en cuerpos receptores superficiales y reducido el porcentaje de agua fuera de la Norma Oficial Mexicana.

Los resultados del modelo de eficiencia apuntan a que solo 9 de los 32 estados poseen un nivel óptimo gracias a una adecuada utilización de sus recursos; esto incluye al medio coactivo para el cumplimiento de la legislación hídrica en México, las sanciones. Estados con mayor disponibilidad de agua, ubicados la mayoría de ellos en la zona centro y sur del país, tuvieron resultados subóptimos, incluyendo el estado de Michoacán.

Los resultados expuestos evidencian un área de mejora significativa en la labor de la Dirección Local Michoacán de la CONAGUA, instancia responsable de vigilar y controlar las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores superficiales. Este hallazgo subraya la necesidad de reorientar estrategias institucionales, optimizar los procesos de inspección y sanción, así como revisar la asignación y eficiencia en el uso del presupuesto disponible, a fin de fortalecer la gestión ambiental y mitigar el deterioro de la calidad del agua.

En otro aspecto, pone de relieve que el valor de las multas no es un factor determinante en la conducta de los agentes contaminadores, *contrario sensu*, es la implementación estratégica de estos medios coactivos previstos en la Ley de aguas nacionales lo que permite, apoyados por la configuración de las otras entradas, lograr un resultado favorable en términos de calidad del agua por vertidos industriales y municipales en cuerpos receptores superficiales.

Referencias

- Afonso, A.; Schuknecht, L. & Tanzi, V. (2006). Public sector efficiency: evidence for new EU member states and emerging markets. *European Central Bank. Working Paper Series*, 42, 2147-2164. <https://doi.org/10.1080/00036840701765460>
- Aguilar, A.; Villanueva, S.; Gúzman, P.; Vázquez, A. (2006) *La contaminación del agua como una externalidad para la producción pesquera y acuícola*. En: P. Gúzman-Anaya & D. F. Fuentes-Castellanos (eds.). *Pesca, Acuacultura e Investigación en México*.
- Arcelus, F. & Arocena, P. (2005) Productivity differences across OECD countries in the presence of environmental constraints. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 1352-1362.
- Asandului, L.; Roman, M. & Fatulescu, P. (2014). The efficiency of healthcare systems in Europe: A data envelopment analysis approach. *Procedia Economics and Finance*, 10, 261-268. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00301-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00301-3)
- Ayvar, F.; Navarro, J. & Zamora, A. (2018). El Sector Agropecuario Mexicano en APEC: Un análisis a través de la envolvente de datos con presencia de badoutputs. *Análisis económico*, 33(83), 125-143.
- Balaguer, M. & Prior, D. (2009). Evaluación a corto y largo plazo de la eficiencia y la calidad. Una solicitud a los municipios españoles. *Economía Aplicada*, 41, 2991-3002. <https://hal.science/hal-00582131>
- Banker, R.; Charnes, A. & Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Bazeley, P. & Jackson, K. (2013). *Qualitative data analysis with NVivo*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Blackburn, T.; Essl, F.; Evans, T.; Hulme, P.; Jeschke, J.; Kühn, I.; Kumschick, S.; Marková, Z.; Mrugała, A.; Nentwig, W.; Pergl, J.; Pyšek, P.; Rabitsch, W.; Ricciardi, A.; Richardson, D.; Sendek, A.; Vilà, M.; Wilson, J.; Winter, M.; Genovesi, P. & Bacher, S. (2014). A unified classification of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. *Plos biology*, 12, 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001850>
- Bogetoft, P. & Leth, J. (1999). Efficiency evaluations based on potential (non-proportional) improvements. *Journal of Productivity Analysis*, 12, 233-247. <http://dx.doi.org/10.1023%2FA%3A1007848222681>
- Bravo, L.; Saldaña, P.; Izurieta, J. & Mijangos, M. (2009). La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo. *El portal del agua desde México*. https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/noticias_principales/contaminacion_difusa/contaminacion.pdf
- Brenes, H. (2020). Aplicación de la Programación Lineal en la maximización del desempeño de los rendimientos de un portafolio compuesto por dos activos, utilizando Solver. *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*, 8, 24-39. DOI 10.5377/reice.v8i16.10658
- Brown, L. (2003). *Salvar el planeta*. Paidós.
- Cardona, G. (2020). Eficiencia municipal por entidad federativa de la educación secundaria en México, 2010-2017: un estudio a través del análisis de la envolvente de datos [Tesis Doctoral, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/2627
- Castillo, E.; Calderón, H.; Delgado, V.; Flores, Y. & Salvatierra, T. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero*, 117(1), 127-146.
- Caves, D. W.; Christensen, L. R. & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.
- Cely, N.; Becerra, D. & Cárdenas, J. (2023). *Causas y consecuencias de la contaminación de aguas*. Bogotá: Ediciones Nueva Jurídica. https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/6720/CAUSAS%20Y%20CONSECUENCIAS%20D%20LA%20CONTAMINACIÓN%20DE%20AGUAS%20SUPERFICIALES_E%20book.pdf?sequence=1

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) (13 de junio de 2022). Evolución del gasto en materia hídrica. <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2022/notacefp0422022.pdf>

Charnes, A.; Cooper, W. & Rhodes, E. (1978). Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.

Cisneros, B. (2007). Información y Calidad del agua en México. *Trayectorias*, 9, 45-56. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60715115006.pdf>

Coll, V. & Blasco, O. (2000). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos: a los modelos básicos*. Valencia, España. Universidad de Valencia. https://www.uv.es/vcoll/libros/2006_evaluacion_eficiencia DEA.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2015). *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108998/DSAPAS_2015.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2023). *Análisis de la contaminación hídrica en México*. Ciudad de México: CONAGUA.

Cooper, W.; Seiford, L. & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. EUA, New York: Springer. http://iiif.library.cmu.edu/file/Cooper_box0010b_fld00003_bdl0001_doc0002/Cooper_box0010b_fld0003_bdl0001_doc0002.pdf 4)

Creswell, J. (2014). Research design: *Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf

Dávila, S. (2012). ¿Cómo establecer sanciones óptimas para la disuasión de infracciones? *Revista de economía y derecho*, 9, 87-102.

Delgado, C. (2011). Elementos constitutivos de la infracción tributaria. *Crónica tributaria*, 139, 59-77. http://www.economis-tas.org/reaf/gestor/139/139_Delgado.pdf

Duran, J. & Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral (Guadalajara)*, 12(36), 1&6629-162. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S166505652006000200005

Eschenhagen, M. (2007). *Las cumbres ambientales internacionales y la educación ambiental*. Oasis (OASIS: Observatorio de Análisis de los Sistemas Internacionales).

Falavigna, G. & Ippoliti, R. (2023). Data envelopment analysis to investigate the Italian legal system and its reform. *Journal of Public Affairs*, 23, 1-15. <https://doi.org/10.1002/pa.2877>

Färe, R.; Grosskopf, S.; Lovell, C. K. & Pasurka, C. (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. *The review of economics and statistics*.

García, M. & Rosales, V. (2011). Una Estimación del Desempeño Judicial en Andalucía Usando el Análisis Envolvente de Datos (DEA). En XVIII Encuentro de economía pública. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3630766.pdf>

García, T. (2018). Instrumentos económicos para la protección ambiental en el derecho ambiental mexicano. *Sociedad y Ambiente*, (17), 247-266. <http://revistas.ecosur.mx/sociedadyambiente/index.php/sya/article/view/1836>.

Giménez, V. & Prior, D. (2007). Evaluación de la frontera de la eficiencia de costos a largo y corto plazo: Evidencia de los gobiernos locales españoles. *Estudios Fiscales*, 121-139. <https://doi.org/10.1111/j.1475-5890.2007.00050.x>

Gómez, J. (2020). Principios Tributarios Sancionadores. *Praxis de la Justicia Administrativa*, (27), 1-19.

Gómez, R. y Cruz, G. (2024). Eficiencia en la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Selectivos y no Selectivos en México, 2017-2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 7435-7462.

Gudipudi, R.; Lüdeke, M.; Rybski, D. & Kropp, J. (2018). Benchmarking urban eco-efficiency and urbanites' perception. *Cities*, 74, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.11.009>

- Gutiérrez, A. (2010). El Puerto de Lázaro Cárdenas y su eficiencia en la cuenca del Pacífico (2003-2008): Un Análisis Envolvente de Datos (DEA) [Tesis de Maestría, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/945
- Hernández, F.; Picazo, A. & Reig, E. (1997). Análisis no paramétrico de eficiencia en presencia de outputs no deseables. *Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (WP-EC 97-09)*. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2249083>
- Hernández, F.; Picazo, A. & Reig, E. (1998). Actividad productiva y medio ambiente: Los residuos industriales en el contexto de los análisis de eficiencia. *RAE: Revista Asturiana de Economía*, 13, 53-72.
- Hernández, F.; Picazo, A. & Reig, E. (2000). Funciones Distancia Direccionales y Eficiencia Medioambiental: Un análisis para la industria cerámica española. En *Encuentro de Economía Aplicada* (pp. 1-16). <http://encuentros.alde.es/antiguos/iiieea/default.html>
- Herralta, M.; Huotari, H. & Olavi, H. (2012). Governance of Finnish waterworks-A DEA comparison of selected models. *Utilities Policy*, 20, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2011.11.005>
- Kutty, A.; Kucukvar, M.; Abdella, G.; Muhammet, B. & Onat, N. (2022). Sustainability Performance of European Smart Cities: A Novel DEA Approach with Double Frontiers. *Sustainable Cities and Society*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103777>
- Ley de Aguas Nacionales (1992). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- Ley federal de procedimiento administrativo (1994). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/112_180518.pdf
- Leyva, C. (2013). Contaminación del agua por descargas de aguas residuales [Tesis para especialidad, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz]. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42348/LeyvaCastellanosCelia.pdf?sequence=2>
- Maia, J.; Matos, K.; Pereira, A. & Lima, L. (2012). Estudio exploratorio de la eficiencia de los Tribunales de Justicia de los estados brasileños mediante el Análisis Envolvente de Datos (DEA). *Revista de Administração Pública*, 46, 1317-1340. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122012000500007>
- Martínez, P.; Díaz, C. & Moeller, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10502>
- Morán, J. (2018). El municipio como proveedor de servicios públicos en Michoacán: Un estudio de la eficiencia a través del análisis envolvente de datos (DEA). [Tesis de maestría, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1069
- Navarro, J. C. L. (2005). *La eficiencia del sector eléctrico en México*. Morelia, México: UMSNH.
- Navarro, J. & Delfín, O. (2017). Educación y pobreza en México. Un análisis de eficiencia a nivel de estados. *Acta Universitaria*, 27, 33-45. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1548>
- Peretto, C. (2016). Evaluación de eficiencia y productividad del sistema bancario. El caso de las Entidades bancarias de la República Argentina en la década del 2001-2010 [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Económicas]. <http://hdl.handle.net/11086/4429>
- Pittman, R. (1983). Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. *The Economic Journal*, 93(372), 883-891.
- Ramanathan, R. (2006). A multi-factor efficiency perspective to the relationships among world GDP, energy consumption and carbon dioxide emissions. *Technological Forecasting and Social Change*, 73, 483-494. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.06.012>
- Render, B.; Stair, Jr. & Hanna, M. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios Naucalpan de Juárez, Estado de México*. Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua (2021). Nacional. Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua. Información al 31 de diciembre de 2021. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/704693/NACIONAL.pdf>

Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua (2021a). Estado de Michoacán. Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua. Información al 31 de diciembre de 2021. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/704690/MCH.pdf>

Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua (2022). Nacional. Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua. Información al 31 de diciembre de 2022. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/805391/NACIONAL_dic2022.pdf

Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua (2022a). Estado de Michoacán. Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua. Información al 31 de diciembre de 2022. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/805388/MCH_dic2022.pdf

Rodríguez, María; Hidalgo, Cristina; Álvarez, Ramón y del Río, Sara. (2022). Eficiencia Técnica y sus factores de ajuste de los municipios productivos de la Denominación de Origen León (España) en 2008 y 2018. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*. Vol. 42. P.p. 485-508. <https://dx.doi.org/10.5209/aguc.85181>

Seiford, L. M. & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, (142), 16-20.

Sepúlveda, M. (2014). Análisis de eficiencia técnica y estudio de casos en los cultivos de flores de la Sabana de Bogotá. *Pensamiento y Gestión*, (36), 291-326.

Shabani, A.; Reza, S.; Farzipoor, R. & Khodakarami, M. (2015). Distinctive data envelopment analysis model for evaluating global environment performance. *Applied Mathematical Modelling*, 39, 4385-4404. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.12.053>

Shu, T.; Zhong, X. & Zhang, S. (2011). TFP Electricity Consumption Efficiency and Influencing Factor Analysis Based on DEA Method. *Energy Procedia*, 12, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.013>

Sueyoshi, T.; Goto, M. & Omi, Y. (2010). Corporate Governance and Firm Performance: Evidence from Japanese Manufacturing Industries after the Lost Decade. *European Journal of Operational Research*, (203), 724-736.

Sueyoshi, T. & Yan, Y. (2015). China's regional sustainability and diversified resource allocation: DEA environmental assessment on economic development and air pollution. *Energy Economics*, 49, 239-256. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.024>

Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN). (1999) Tesis: 127, Semanario judicial de la Federación y su Gaceta, Novena Época, Tomo X, p. 219. Reg. digital 192796.

Torres, M.; Ayvar, F. & Navarro, J. (2018) La eficiencia de la industria de alimentos, bebidas y tabaco: un análisis a través de la envolvente de datos. *Revista nicolaita de estudios económicos*, 13, 29-52. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistanicolaitadeestudioseconomicos/2018/vol13/no1/2.pdf>

Urrego, R. & Díaz, M. (2018). Evaluando el desempeño judicial de las unidades civiles en Ecuador a partir del Análisis Envolvente de Datos (DEA). En *VI Encuentro Latinoamericano de Metodología de las Ciencias Sociales* (Ecuador, 7 al 9 de noviembre de 2018). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/108314>

Valencia, N. & Almanza, C. (2022) Evaluating the Efficiency and Productivity of Colombian Criminal Justice. *Review of Law & Economics*, 18, 377-401. <https://doi.org/10.1515/rle-2021-0082>

Wang, K.; Bin, L. & Yi-Ming, W. (2013). Energy and emissions efficiency patterns of Chinese regions: A multi-directional efficiency analysis. *Applied Energy*, 104, 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.039>

Xenarios, S. & Bithas, K. (2012). The Use of Environmental Policy Instruments for Urban Wastewater Control: Evidences from an International Survey. *Environmental Policy and Governance*, 22, 14-26. Doi: 10.1002/eet.596

Zamora, A. & Navarro, J. (2014). Eficiencia de la administración pública aduanera a través del modelo DEA. *CONFines*, 10, 117-135. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35692014000200006

Declaración de posibles conflictos de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Rol en la investigación según la clasificación (CRediT):

- **América Ivonne Zamora Torres**
Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, escritura y supervisión.
- **José Sergio Pérez Galindo**
Conceptualización, investigación, metodología, visualización y redacción-borrador inicial.
- **Casimiro Leco Tomás**
Administración del proyecto, supervisión, validación, redacción-revisión y edición.

América Ivonne Zamora Torres

Doctora en Ciencias en Negocios Internacionales por el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Profesor-investigador Titular C en el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Correo: america.zamora@umich.mx

José Sergio Pérez Galindo

Doctor en Políticas Públicas por el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Maestro en Gestión Pública de la Sustentabilidad por la Facultad de Economía de la misma universidad.

Correo: jsperez@fevaq.net

Casimiro Leco Tomás

Doctor en Estudios Rurales por El Colegio de Michoacán. Profesor-investigador Titular C en el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Correo: casileco@hotmail.com

Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente.

Nº 16 julio – diciembre 2025. E-ISSN: 2709 – 3689

Cómo citar: Zamora Torres, A. I., Pérez Galindo, J. S., & Tomas, C. L. Eficiencia de las sanciones por descargas de aguas residuales en Michoacán, México (2022). Un estudio a través del Análisis Envolvente de Datos (DEA) con presencia de "bad outputs". *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (16), A-002. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202502.A002>