



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

**DOCTORADO DE POLÍTICAS PÚBLICAS**

**TESIS**

**ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LOS ORGANISMOS  
OPERADORES DEL AGUA MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE  
UN MODELO DE EVALUACIÓN EN EL PERIODO 2012-2018**

**Para obtener el grado de  
Doctora en Políticas Públicas**

**Presenta**

MGyDR. Belida Ariana Reyes Mata

**Director**

Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla

**Comité Tutorial**

Dra. Sonia Bass Zavala  
Dra. Yamile Rangel Martínez

Pachuca de Soto, Hidalgo, México, marzo, 2023



DPP/029/2023

**Asunto:** Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**  
**Directora de Administración Escolar**  
**Presente.**

El Comité Tutorial de la tesis **“Estimación de la eficiencia en los organismos operadores del agua mediante la construcción de un modelo de evaluación en el periodo 2012-2018”**, realizada por la sustentante **Reyes Mata Belida Ariana** con número de cuenta **082346** perteneciente al programa de **Doctorado en Políticas Públicas**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

### **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

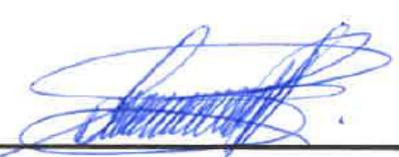
Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

**Atentamente**  
**“Amor, Orden y Progreso”**  
**Pachuca, Hidalgo a 07 de marzo de 2023**

**El Comité Tutorial**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla**  
**Director**



  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Sonia Bass Zavala**  
**Lectora**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Yamile Rangel Martínez**  
**Lectora**

Carretera Pachuca-Actopan Km. 4 s/n,  
Colonia San Cayetano, Pachuca de Soto,  
Hidalgo, México; C.P. 42084  
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 ext 4201, 4205  
icshu@uaeh.edu.mx



## **Agradecimientos**

Inicio por agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, ya que a través de su financiamiento mediante la Beca Nacional CONACYT, fue posible concluir los estudios y el trabajo de investigación en el Doctorado de Políticas Públicas, dicha investigación representa un aporte significativo a una de las problemáticas que aquejan a nuestra sociedad actual y que busca contribuir a la mejora de las políticas públicas en materia de agua, desarrollo urbano y ordenamiento territorial.

De igual manera, agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) por la oportunidad de poder cursar un posgrado de alta calidad, con investigadores de primer nivel que han contribuido de manera significativa a formar un enfoque integral sobre las políticas públicas en el Estado, compartiendo su amplia experiencia, sus conocimientos y trabajos de investigación.

Agradezco de manera especial a mi Director de tesis por guiarme en el desarrollo de esta investigación, por enseñarme y por llevarme a crecer en el estudio y la investigación de las políticas públicas en México. También agradezco a mi Comité Tutorial que me ha acompañado y guiado a través de su vasta experiencia con el aporte de sus conocimientos para hacer de esta investigación un trabajo completo e integral, gracias por su tiempo y dedicación a la revisión de este trabajo.

Finalmente, pero no menos importante, es el agradecimiento a mi familia, primeramente a mi esposo e hijos, quienes me han dado su confianza y amor y me han animado en todo momento para seguir adelante, son mi inspiración para alcanzar mis logros. A mis padres y hermanos por su apoyo y cariño que me renuevan continuamente para seguir en mis proyectos profesionales y personales, muchas gracias por siempre estar presentes, los quiero mucho.

## **Prefacio**

La dinámica social en la que nos vemos envueltos todos los días nos presenta una realidad con diversos problemas, algunos de ellos impactan significativamente el desarrollo de nuestra vida y otros nos presentan retos que nos hacen crecer como personas. Entre estos problemas sociales uno llamó mi atención, el abasto del agua, como mujer, madre y profesionista el agua representa un servicio vital para la vida diaria, para el desarrollo de los hijos y para el cumplimiento de diversas tareas ¿por qué no lo recibimos regularmente en el hogar o en los negocios?

Resulta que el agua es un recurso importante, no sólo para la vida diaria de las familias sino para la economía y para el propio desarrollo humano, y su estudio es de interés global, esta es la razón de esta investigación, contribuir con un trabajo enfocado en los Organismos Operadores de Agua y su labor en la gestión de este recurso.

El desarrollo de la presente investigación me ha permitido crecer como persona y como profesional, por ello, reconozco el aporte cognitivo y el expertis compartido de mis maestros, de mi Director de tesis y de mi Comité tutorial para formar en mi una visión amplia e integral de las políticas públicas y llevarlo a un trabajo de investigación que contribuya a la atención y solución de problemáticas sociales en nuestro país.

## Sumario

Este trabajo de investigación se ha centrado en el desempeño de los Organismos Operadores de Agua en México a través del análisis de los indicadores de eficiencia que forman parte del modelo a cargo de la Comisión Nacional del Agua y que son obtenidos a través del Programa de Indicadores de Gestión de los Organismos Operadores (PIGOO).

La investigación ha permitido indagar sobre la política pública de agua en nuestro país, se describen los elementos centrales de su gestión y la prestación del servicio público además de describir los componentes normativos que regulan y dirigen el uso y la concesión de este recurso. También se ha incluido la propuesta de un modelo de eficiencia mediante la construcción de un Índice de Eficiencia General (IEG) obtenido a través de un análisis factorial exploratorio y la construcción de un modelo de regresión Gamma para la proyección de resultados en materia de eficiencia a partir del Índice de Eficiencia General construido y así destacar los aspectos de mayor impacto en el desempeño de los Organismos Operadores de Agua.

Finalmente, a partir de los hallazgos y los resultados de la investigación se han emitido recomendaciones en materia de política pública que destacan el fortalecimiento del marco normativo, la vinculación institucional, la participación activa del sector público, el sector privado y la sociedad civil organizada, además, de fortalecer la participación de los Organismos Operadores de Agua en el Programa de Indicadores de Gestión y procurar su mejora continua en materia de ingeniería, infraestructura hidráulica, sistemas comerciales y de cobro y en el ámbito institucional para impulsar su actualización y modernización.

## Índice

Agradecimientos .....	3
Prefacio .....	4
Sumario .....	5
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
<b>Capítulo 1. Marco Metodológico y Conceptual.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Preguntas de Investigación: .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>18</b>
1.3.1 <i>Objetivo General:</i> .....	18
1.3.2 <i>Objetivos Específicos:</i> .....	18
<b>1.4. Hipótesis / Supuesto teórico.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5. Marco conceptual.....</b>	<b>18</b>
1.5.1. <i>El concepto de eficiencia</i> .....	18
1.5.2. <i>La eficiencia técnica y la eficiencia económica</i> .....	20
1.5.3. <i>La eficiencia en la prestación del servicio público del agua</i> .....	21
1.5.4. <i>La eficiencia en la prestación del servicio público del agua en México</i> .....	28
1.5.5. <i>El modelo de eficiencia de CONAGUA</i> .....	30
<b>1.6. Estudios sobre la eficiencia física, económica y global .....</b>	<b>45</b>
<b>1.7. Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua Potable .....</b>	<b>49</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 2. La gestión del agua y la prestación del servicio público del agua en México .....</b>	<b>59</b>
<b>2.1. Gestión de servicios públicos municipales.....</b>	<b>60</b>
2.1.1 <i>Enfoques y tendencias</i> .....	60
2.1.2 <i>Aspectos normativos e institucionales</i> .....	61
2.1.3 <i>Estrategias</i> .....	62
<b>2.2. Bases normativas e institucionales de la política pública de abasto de agua en México. ....</b>	<b>62</b>
2.2.1 <i>La rectoría de la política</i> .....	63
2.2.2 <i>La gestión de los servicios de agua potable y saneamiento</i> .....	63
<b>2.3. La gestión de los recursos hídricos y del agua en México.....</b>	<b>68</b>
2.3.1. <i>Los recursos hídricos</i> .....	68
2.3.2. <i>La gestión del agua en México</i> .....	70
<b>2.4. Modalidades de administración de los servicios de agua .....</b>	<b>71</b>
2.4.1 <i>Organismos operadores municipales</i> .....	72
2.4.2 <i>Organismos operadores intermunicipales</i> .....	72
2.4.3 <i>Organismos operadores estatales</i> .....	72
2.4.4 <i>Organismos privados como concesionarios</i> .....	73
<b>2.5. Funcionamiento de los organismos operadores .....</b>	<b>73</b>
<b>2.6. La regulación de los organismos operadores de agua .....</b>	<b>76</b>
2.6.1 <i>Tipos de regulación</i> .....	77
<b>2.7. La prestación del servicio público del agua en México .....</b>	<b>79</b>
2.7.1. <i>Los servicios públicos y su prestación</i> .....	79
2.7.2. <i>Características jurídicas de los servicios públicos:</i> .....	80
2.7.3. <i>Clasificación de los servicios públicos</i> .....	81
<b>2.8. Los Municipios y la prestación del servicio público del agua.....</b>	<b>81</b>
<b>2.9. La prestación del servicio público del agua y el ordenamiento territorial .....</b>	<b>83</b>
<b>2.10. La política pública sobre el agua en México .....</b>	<b>85</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>90</b>
<b>Capítulo 3 Modelo de evaluación de la eficiencia en los organismos operadores del agua en México.....</b>	<b>92</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>93</b>
<b>3.2 Metodología de Investigación.....</b>	<b>94</b>

3.2.1	Objetivos.....	94
3.2.2	Diseño .....	94
3.2.3	Supuestos.....	94
3.2.4	Derivación de Factores.....	95
3.3	Planteamiento del Problema .....	99
<b>3.4.</b>	<b>Marco Teórico.....</b>	<b>102</b>
3.4.1	El Modelo de Eficiencia de CONAGUA.....	102
3.4.2.	El Modelo de Análisis Factorial Exploratorio .....	105
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>118</b>
	<b>Capítulo 4 Modelo de Regresión Gamma.....</b>	<b>120</b>
4.1	Introducción.....	121
4.2	Marco Teórico.....	121
4.2.1	La Regresión Lineal Simple.....	122
4.2.2	La Regresión Lineal Múltiple .....	123
4.2.3	La Transformación Box Cox.....	124
4.2.4.	Los modelos Lineales Generalizados.....	125
4.2.5	La Regresión Gamma .....	127
4.3	El Modelo de Regresión para la Eficiencia en el Abasto del Agua.....	128
4.3.1.	El modelo de factores.....	130
4.3.2.	El Modelo de Regresión .....	132
	<b>Conclusiones:.....</b>	<b>138</b>
	<b>Recomendaciones en materia de Política Pública .....</b>	<b>139</b>
	<b>Conclusiones Generales.....</b>	<b>148</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>156</b>
	<b>Anexo 1 Código de programación R determinación índice de Eficiencia General</b> .....	<b>167</b>
	<b>Anexo 2 Código de programación R determinación Modelo de Regresión Gamma</b> .....	<b>169</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1 Resultados de eficiencia por localidad .....	46
Tabla 2 Número de Organismos Participantes-Tasa de Variación Porcentual .....	49
Tabla 3 Eficiencia Física 1 .....	54
Tabla 4 Eficiencia Física 2 .....	54
Tabla 5 Eficiencia Comercial .....	54
Tabla 6 Eficiencia de Cobro .....	55
Tabla 7 Eficiencia Global .....	55
Tabla 8 Número de Organismos Operadores Participantes por Entidad Federativa .....	55
Tabla 9 Organismos Operadores Participantes en 2012 por tipo de eficiencia .....	56
Tabla 10 Organismos Operadores Participantes en 2013 por tipo de eficiencia .....	56
Tabla 11 Organismos Operadores Participantes en 2014 por tipo de eficiencia .....	56
Tabla 12 Organismos Operadores Participantes en 2015 por tipo de eficiencia .....	56
Tabla 13 Organismos Operadores Participantes en 2016 por tipo de eficiencia .....	56
Tabla 14 Organismos Operadores Participantes en 2017 por tipo de eficiencia .....	57
Tabla 15 Organismos Operadores Participantes en 2018 por tipo de eficiencia .....	57
Tabla 16 Sistemas básicos de un Organismo Operador .....	105
Tabla 17 Modelos Lineales Generalizados. Links .....	126
Tabla 18 Número total de Organismos Operadores con información por tipo de eficiencias en el PIGOO .....	130
Tabla 19: Resultados Prueba ANOVA .....	133
Tabla 20: Resultados Prueba de Normalidad .....	133
Tabla 21: Resultados Prueba de Homocedasticidad .....	133
Tabla 22: Resultados Prueba de Autocorrelación .....	133
Tabla 23: Resultados Prueba de Multicolinealidad .....	133
Tabla 24: Links de la Prueba Gamma .....	134
Tabla 25: Resultados Grados de Libertad .....	135
Tabla 26: Resultados Prueba de Devianza .....	135
Tabla 27: Resultados Prueba de Colinealidad .....	136
Tabla 28: Resultados Coeficientes .....	137

## Índice de Figuras

Figura 1 Modelo de Eficiencia CONAGUA .....	31
Figura 2 Sistemas básicos de un Organismo Operador .....	35
Figura 3 Organismos participantes en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua PIGOO .....	50
Figura 4 Regiones Hidrológicas Administrativas en México .....	69
Figura 6 Matriz de correlación de variables .....	108
Figura 7 Determinación de los Factores .....	113
Figura 8 Gráfico de Varianzas y Covarianzas .....	114
Figura 9: Resultados Link Log .....	135
Figura 10: Residuales .....	136
Figura 11: OOA Participantes, Mejor resultado Eficiencia Global 2012-2018 .....	146

## Resumen

El abasto del servicio público del agua en México se encuentra a cargo de los Organismos Operadores del Agua, su desempeño es valorado conforme al modelo de eficiencia de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), organismo público federal facultado para ejercer como órgano superior de carácter técnico, normativo, y consultivo. Para CONAGUA la eficiencia del sistema de agua potable es la “capacidad de captar, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua, desde la fuente natural hasta los consumidores con un servicio de calidad total”<sup>1</sup>, y el contexto propicio para alcanzar esta eficiencia se presenta en tres escenarios: en la ingeniería del sistema de abastecimiento, en la comercialización de los servicios de agua potable y en el desarrollo institucional del organismo operador, por lo que en su evaluación considera el cálculo de cinco eficiencias: Eficiencia Física 1, Eficiencia Física 2, Eficiencia Comercial, Eficiencia de Cobro y Eficiencia Global; en este trabajo se construye un Índice General de Eficiencia a partir de los resultados alcanzados por los Organismos Operadores de Agua en México en el periodo de 2012 a 2018 con respecto a dichas eficiencias y posteriormente se elabora un modelo de regresión para la proyección de resultados con base en los aspectos de mayor relevancia en la eficiencia de los organismos, con el propósito de generar un instrumento de retroalimentación y monitoreo a su desempeño y desarrollo ante los nuevos retos a los que deben enfrentarse para brindar un servicio eficiente y de calidad año con año.

Palabras clave: Eficiencia, servicio de utilidad pública, abastecimiento de agua, agua, organismo operador gubernamental.

---

<sup>1</sup> Comisión Nacional del Agua CONAGUA, Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F., 2012, 10.

## **Abstract**

The supply of the public water service in Mexico is in charge of the Water Operators Organisms, their performance is valued according to the efficiency model of the Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a federal public organism empowered to act as a superior body of character technical, regulatory, and advisory. For CONAGUA, the efficiency of the drinking water system is the "capacity to capture, conduct, regularize, make drinkable and distribute water, from the natural source to consumers with a total quality service", and the favorable context to achieve this efficiency is presented in three scenarios: the engineering of the supply system, the commercialization of drinking water services and the institutional development of the operating agency, thus its evaluation considers the calculation of five efficiencies: Physical Efficiency, Physical Efficiency, Commercial Efficiency, Collection Efficiency, Global Efficiency. In this work, a General Efficiency Index is constructed based on the results achieved by the Water Operators Organisms in Mexico in the period from 2012 to 2018 with respect to those efficiencies and subsequently a regression model is developed for the projection of results based on the most relevant aspects in the efficiency of the agencies, with the purpose of generating a feedback and monitoring instrument for their performance and development, facing the new challenges to provide an efficient and quality service year per year.

Keywords: Efficiency, public utility service, water supply, water, government operator organism.

## Introducción

El acceso al agua potable en México es un reto cada vez más difícil de enfrentar debido a problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Programa Nacional Hídrico 2019-2024, en nuestro país, cerca del 10% de la población no tiene acceso al agua potable, solo el 58% de la población del país tiene agua diariamente en su domicilio y cuenta con saneamiento básico mejorado<sup>2</sup>, para el año 2030 la brecha entre oferta sustentable y demanda de agua potable en México será de 23 mil millones de metros cúbicos, los periodos de sequías han sido más prolongados, existe aumento en la explotación de los acuíferos, los efectos del cambio climático y los cambios en el uso del suelo también han impactado su disponibilidad, entre otras.

También existen problemáticas relacionadas con los prestadores del servicio de agua del país: insuficiencia de recursos financieros, bajas tarifas del servicio, falta de personal capacitado, servicios de agua y saneamiento de mala calidad y falta de cobertura en escuelas, centros de salud, entornos rurales y periferias de las zonas urbanas.

La CONAGUA es la instancia facultada para el seguimiento técnico de los Organismos Operadores y ha buscado contribuir a la mejora de sus eficiencias, y en conjunto con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha dado seguimiento a su desempeño con base en su modelo e indicadores.

En este sentido, la presente investigación analiza el modelo de eficiencia aplicable a los Organismos Operadores de Agua en México, y los resultados alcanzados en el periodo 2012-2018 para presentar un modelo de evaluación y seguimiento a partir de la construcción de un Índice General de Eficiencia y un modelo de regresión para la proyección de resultados donde destaquen los aspectos significativos de la eficiencia de los Organismos Operadores.

De esta forma, el Objetivo General de la investigación es:

---

<sup>2</sup> El saneamiento básico mejorado considera a los habitantes de las viviendas que tienen sanitarios de uso exclusivo para la vivienda y que su sanitario está conectado a la red de drenaje o a una "fosa séptica"(CONAGUA, Programa Nacional Hídrico 2019-2024, p.19)

Estimar la eficiencia de los organismos operadores del agua con base en la propuesta de CONAGUA mediante la construcción de un modelo de evaluación en el periodo 2012-2018.

Y la hipótesis que se pretende contestar es:

La evaluación de la eficiencia en el abasto del agua contribuirá a la atención de necesidades, problemáticas y retos en México, y además permitirá contar con indicadores para el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial de país.

La investigación se desarrolla en cuatro capítulos:

En el Capítulo 1 se ha consolidado la integración de los elementos metodológicos de la investigación, la definición del planteamiento del problema, las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis, la descripción del marco conceptual, donde se ha logrado consolidar el concepto de “eficiencia” aplicable a la prestación del servicio público del agua, se detallan los elementos teóricos y técnicos que describen la eficiencia técnica y económica en los servicios públicos y se ha logrado describir el concepto en la prestación del servicio público del agua en nuestro país.

Este capítulo incluye, además, la investigación de otros trabajos relacionados con la eficiencia en la prestación del servicio público del agua, y se describe el modelo aplicable a los organismos operadores en México planteado por la Comisión Nacional del Agua CONAGUA, así como los lineamientos del Programa de Indicadores de gestión de Organismos Operadores de Agua Potable PIGOO.

En el Capítulo 2 se ha realizado la investigación sobre el modelo de gestión del agua en México, detallando los elementos característicos sobre las bases normativas e institucionales de la política pública de abasto del agua, la gestión de los recursos hídricos del agua en México, las modalidades de administración de los servicios de agua y el funcionamiento de los organismos operadores.

Este Capítulo también comprende el análisis de la prestación del servicio público del agua en México, desde el fundamento normativo y el reconocimiento constitucional del derecho humano para contar con agua y saneamiento, se ha incluido información sobre la regulación de los organismos operadores de agua, la prestación del servicio público del agua en México, la participación de los municipios en la prestación de este servicio

público, la relación que guarda este servicio público con el ordenamiento territorial y la política pública del agua en México.

En lo que refiere al Capítulo 3, se ha realizado la construcción de un índice General de Eficiencia (IGE) con base en los datos de 387 organismos disponibles para las cinco eficiencias del año 2012 al 2018. El Índice General de Eficiencia ha sido construido a partir de un modelo de análisis factorial exploratorio, por lo que se ha incluido la descripción de este tipo de análisis factorial, su metodología y los pasos que se han aplicado para el modelo propuesto.

En lo que refiere al Capítulo 4 se ha elaborado un modelo de regresión para la proyección de datos con el que se busca pronosticar resultados en materia de eficiencia en los Organismos Operadores de Agua, este modelo se ha elaborado utilizando una distribución Gamma por lo que se ha incluido información sobre los modelos de regresión y los modelos lineales generalizados.

Finalmente, se incluye un apartado para las conclusiones generales donde se detallan las reflexiones finales y las propuestas de la investigación.

## **Capítulo 1. Marco Metodológico y Conceptual**

## Capítulo 1. Marco Metodológico y Conceptual

### 1.1. Planteamiento del Problema

A nivel nacional existen diversas problemáticas relacionadas con el abasto del agua, tanto en zonas urbanas como rurales, de acuerdo con el Programa Nacional Hídrico 2019-2024, a nivel nacional sólo el 58% de la población del país tiene agua diariamente en su domicilio y cuenta con saneamiento básico mejorado<sup>3</sup>. En el medio urbano se alcanza un valor de 64% y en el medio rural del 39%, en el estado de Hidalgo, este indicador es apenas del 40%. Los prestadores del servicio de agua en el país son, en su mayoría, organismos públicos descentralizados, el 8.5% son paraestatales y el 3.5% son concesionarios privados, órganos desconcentrados de los estados y municipios, empresas público-privadas y operadores federales, que se enfrentan a diversas dificultades, entre ellas, la insuficiencia de recursos financieros para operar adecuadamente, problemas de recaudación, bajas tarifas del servicio y falta de personal capacitado, resultando todo ello en servicios de agua y saneamiento de mala calidad y falta de cobertura en escuelas, centros de salud, entornos rurales y periferias de las zonas urbanas. Además, existen factores externos que han comenzado a impactar en el abasto del agua, como lo son los efectos del cambio climático y la sobreexplotación de los mantos acuíferos encargados de proveer dicho recurso.

A nivel nacional las necesidades de agua para abastecer a las ciudades se han estado incrementando, se considera que en 20 años la brecha entre la oferta y la demanda será de 23 mil millones de metros cúbicos; el crecimiento poblacional también ejerce presión sobre la demanda de agua, se estima que para 2050 habrá 131 millones de habitantes en México, lo que representará un incremento del 25% con respecto a la población actual, esto obligará a incrementar la producción de alimentos alrededor del 70% lo que requerirá mayores extracciones de agua que equivaldrán al 55% más de lo que se extrae actualmente para ese mismo concepto.

Otro factor a considerar son las variaciones estacionales de agua que pueden ocasionar sequías, las cuales se pueden enfrentar con las provisiones de agua contenidas en los acuíferos, sin embargo, los periodos de sequías han sido más

---

<sup>3</sup> El saneamiento básico mejorado considera a los habitantes de las viviendas que tienen sanitarios de uso exclusivo para la vivienda y que su sanitario está conectado a la red de drenaje o a una "fosa séptica" (Programa Nacional Hídrico 2019-2024, p.19)

prolongados y, aunados a la explotación excesiva de los acuíferos, se han comenzado a quedar sin reservas.

El cambio climático y los cambios en el uso del suelo son también factores que han comenzado a impactar en la disponibilidad de los recursos hídricos y en las fuentes de abastecimiento de agua en todas las regiones del país. De acuerdo con la CONAGUA, el 24% de los municipios del país presentan vulnerabilidad climática “alta” y “muy alta”, y un factor determinante en esta vulnerabilidad es la condición de pobreza en la que se encuentra la población de dichos municipios.

En lo que respecta a las fuentes de abastecimiento de agua, de los 653 acuíferos que existen en el país 115 se encuentran sobreexplotados, en 69 de las 757 cuencas hidrológicas el caudal concesionado o asignado es mayor al agua renovable ocasionando déficit de agua, las aguas superficiales se encuentran contaminadas por descargas de aguas residuales, municipales, industriales sin tratamiento y agroquímicos. El 30% de las aguas residuales municipales que se colectan en los drenajes no reciben ningún tipo de tratamiento, y del volumen total de agua tratada sólo el 32% es reutilizada. En las aguas residuales no municipales como las industriales, agrícolas, lixiviados de rellenos sanitarios, entre otros, no reciben el tratamiento adecuado, en 2018 existían 819 plantas tratadoras de agua abandonadas en todo el país que representan el 24% del total a nivel nacional, además, los sistemas de recolección de las aguas residuales son insuficientes o están deteriorados.

El estado de Hidalgo se encuentra dentro de las 14 entidades con mayor rezago en el acceso a servicios de agua y saneamiento y aún, cuando las zonas urbanas presentan mejores indicadores que las rurales, su dinámica de crecimiento y expansión la condicionan a buscar alternativas de mejora y previsión en el tema del agua. Esta expansión y mayor concentración urbana no sólo ha traído crecimiento económico a las regiones del país, sino que también ha generado múltiples problemas y necesidades. De acuerdo con Duran y Torres (2006), uno de los problemas en las ciudades medias es la prestación eficiente de los servicios urbanos, entre ellos, el agua potable, la recolección de basura y el transporte público.

La prestación de servicios públicos es un componente básico en la operación y funcionalidad de las ciudades y centros urbanos, las actividades económicas y el desarrollo de la vida en ellas está condicionada al acceso y disponibilidad de estos servicios. El agua es uno de los servicios públicos de mayor impacto para la actividad

económica, es, además, un derecho básico para la vida<sup>4</sup> y un factor determinante en la calidad de vida de la población (Zegarra, 2014). Por ello la eficiencia en la prestación de este servicio es una condición para el pleno funcionamiento de las ciudades.

De acuerdo con Moreno (1998) y Domínguez (2010) en las zonas metropolitanas persisten problemáticas en la calidad de los servicios públicos, incapacidad administrativa y de operación por parte de los municipios, y falta de participación de la población en la gestión y pago de los servicios. Hernández y Maldonado (2013) destacan que, además de la cobertura, hay problemas relacionados con la gestión del servicio en donde intervienen instituciones públicas, administradores y población usuaria.

Una referencia sobre la mejora en la prestación de servicios públicos es alcanzar la condición de eficiencia, de tal suerte que, servicios públicos más eficientes deberían responder mejor a las necesidades propias de una ciudad o centro urbano dado, estas necesidades son distintas y corresponden a la dinámica de crecimiento, transformación y funcionalidad urbana de cada ciudad, por lo que la medida de eficiencia puede considerar elementos distintos según el espacio urbano del que se trate. La medida de eficiencia en los servicios públicos no puede adecuarse al ideal de cada habitante, sino que existe una propuesta base, casi siempre fundamentada en elementos de tipo normativo, para cumplir con los estándares esperados en la prestación de este tipo de servicios.

Medir la eficiencia en el abasto de los servicios públicos permite contar con un parámetro de referencia para la mejora y atención de problemáticas relacionados con ellos, Ferro, Lentini y Romero (2011) destacan que el enfoque económico ha prevalecido en la medición y evaluación de la eficiencia en las empresas y organismos prestadores de servicios públicos, sobre todo en aquellos encargados de proveer el servicio de agua y alcantarillado.

## **1.2. Preguntas de Investigación:**

- ¿Cuál es el enfoque que prevalece en la medición de la eficiencia en el abasto del agua en México?

---

<sup>4</sup> El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos (ONU, 2018)

- ¿Cuál es el modelo de eficiencia para el abasto del agua en México?
- ¿Cuál es el grado de cumplimiento del modelo de eficiencia de la CONAGUA en los organismos operadores del agua en México?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General:**

Estimar la eficiencia de los organismos operadores del agua con base en la propuesta de CONAGUA mediante la construcción de un modelo de evaluación en el periodo 2012-2018.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- Describir los factores que inciden en la eficiencia en el abasto del agua en México
- Identificar los factores determinantes de la eficiencia global en el abasto del agua en México
- Pronosticar la eficiencia global del agua en México a partir de los factores determinantes

### **1.4. Hipótesis / Supuesto teórico**

La evaluación de la eficiencia en el abasto del agua contribuirá a la atención de necesidades, problemáticas y retos en México, y además permitirá contar con indicadores para el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial de país.

### **1.5. Marco conceptual**

#### **1.5.1. El concepto de eficiencia**

En la evaluación de las políticas y programas públicos se suelen valorar conceptos como la eficacia, la eficiencia y la equidad, y es conveniente hacer una distinción entre ellos para términos de acotación de este trabajo de investigación. La eficacia es interpretada como el grado en que se alcanzan los objetivos propuestos, y una instancia u organismo público será eficaz en la medida en que cumpla su misión y alcance los objetivos que son su razón de ser (Mokate, 1999).

Por su parte, la equidad tiene que ver con igualdad, justicia y cumplimiento de derechos, su interpretación se origina en sus raíces etimológicas, proveniente del latín *aequitas*, que significa “igualdad”, y que en las políticas y programas públicos ha llevado a valorar aspectos como la igualdad de oportunidades, igualdad de acceso, igualdad de capacidades, etc. En ese sentido es una medición dirigida a valorar la forma y los resultados en que se distribuyen los beneficios de un programa o política pública.

Para esta investigación el concepto que se busca valorar en la prestación de un servicio público es el de “Eficiencia”, y este concepto suele ser más complejo que los anteriores ya que existen diversas interpretaciones.

El Diccionario de la Real Academia Española (2019) define a la Eficiencia como la “capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado”, Cohen y Franco (1992) detallan que el concepto de eficiencia se utiliza en el análisis financiero y es parecido a la noción de “óptimo”, y la definen como “la relación existente entre los productos y los costos de los insumos”(p.104), esta apreciación considera que el resultado que se busca con la eficiencia es medir “el costo de una unidad de producto final recibida por un beneficiario en cierta unidad de tiempo” (Cohen y Franco, 1992, p. 104).

Lockheed y Hanushek (1988) definen a la eficiencia como “una relación entre entradas y salidas, un sistema más eficiente es aquel que obtiene la mayor producción dado un cierto conjunto de insumos o recursos, o logra la misma cantidad de producción con menos insumos, manteniendo todo lo demás igual” (Lockheed y Hanushek, 1988, p.22). Mokate (1999) la define como “el grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible” (Mokate, 1999, p. 5).

En un ejercicio por determinar cómo se interpreta a la “eficiencia”, Mokate (1999) revisa los resultados de encuestas aplicadas a profesionales que participaron en cursos del Instituto Interamericano para el Desarrollo Social (INDES) y presenta un resumen de la pregunta “cómo definirían un programa eficiente”. De los 262 encuestados, 70 respondieron que es eficiente si cumple con sus objetivos y hace uso adecuado, racional u óptimo de los recursos, 39 dijeron que es eficiente si cumple sus objetivos, 36 si maneja adecuadamente o racionalmente los recursos, 19 que es eficiente si cumple con sus objetivos con el presupuesto programado, 17 es eficiente si cumple con su plan de trabajo previsto y, 9 si cumplen en el menor tiempo posible. (Mokate, 1999, p. 5)

Por tanto, aunque existen diversas interpretaciones del concepto de “Eficiencia” existe una tendencia a dirigir su interpretación hacia la manera en que se utilizan los recursos, y en los programas públicos las medidas de eficiencia que involucran el uso de los recursos son los conceptos de eficiencia técnica y eficiencia económica, que a su vez involucran otros conceptos de eficiencia.

### **1.5.2. La eficiencia técnica y la eficiencia económica**

De acuerdo con Ferro, Lentini y Romero (2011), el concepto de eficiencia a nivel de organizaciones comenzó a medirse a partir de la propuesta de Farrell (1957), cuando se concibió a la eficiencia técnica “como la obtención de la mayor cantidad posible de producto, a partir de un conjunto dado de insumos” (Ferro, Lentini y Romero, 2011, p. 9), esta eficiencia técnica representa la relación entre los insumos y el producto final, por lo que al combinar de distinta manera los insumos se están aplicando distintas técnicas, y por lo tanto, se están obteniendo distintos productos.

En este caso la eficiencia se alcanza en aquella combinación donde los insumos, que son escasos, son empleados de manera óptima. Por tanto, toda empresa encargada de producir buscará la combinación de mayor producto con menores cantidades de insumos. Las empresas privadas y organismos públicos encargados de proveer cualquier servicio buscan también la eficiencia, y bajo la propuesta de la eficiencia técnica, se determina por la posibilidad de hacer distintas combinaciones de insumos y obtener distintas cantidades de producción.

En el servicio público del agua, este tipo de eficiencia ha llevado a considerar únicamente los elementos físicos y de ingeniería relacionados con los insumos y el producto: metros cúbicos por unidad de tiempo, red de tuberías y capital humano. Cuando se incluyen los costos y precios para valorar la combinación de insumos y la producción obtenida se está considerando la denominada eficiencia asignativa. La suma de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa determina la eficiencia económica.

Por su parte, Mokate (1999) destaca que la eficiencia técnica examina la relación entre el producto o resultado obtenido y la cantidad de insumos utilizados en ello, también considera que la eficiencia técnica puede referirse a la relación entre el producto y la energía utilizada en su producción (p.6). Desde su apreciación, la eficiencia técnica será útil en aquellos casos donde se desee comparar las distintas formas en que se alcanzan ciertos resultados. En este sentido la eficiencia económica es un concepto que

aparece ante la necesidad de hacer comparaciones, pero en procesos complejos donde se emplean insumos diferentes y en proporciones diferentes, ya que permite representar los valores en unidades monetarias midiendo las unidades de producto (ya sea un logro, efecto o impacto), con base en los costos de los insumos o recursos utilizados.

De acuerdo con Sarmiento y Castellanos (2008), la eficiencia económica involucra dos tipos de eficiencia: la eficiencia en producción y la eficiencia en el uso de los insumos. La eficiencia en producción consiste en producir algún nivel dado de producto al menor costo posible y producir un nivel de producto que corresponda al costo medio mínimo de una firma de largo plazo (p.22). La eficiencia en el uso de los insumos contempla a su vez dos tipos de eficiencia, la eficiencia técnica que se alcanza al obtener el máximo producto posible dado, un nivel de insumos, y la eficiencia de asignación que se presenta cuando el flujo de recursos, con el cual una industria produce bienes y servicios elegidos por los consumidores de acuerdo a sus preferencias, logra maximizar los beneficios de tal forma que el precio es igual al costo marginal.

La eficiencia es, por tanto, un concepto de múltiples interpretaciones, adecuada a las características de la unidad productiva que se valora: ¿cómo se ha utilizado en la prestación de los servicios públicos? Y sobre todo en la prestación del servicio público del agua.

### ***1.5.3. La eficiencia en la prestación del servicio público del agua***

El servicio público del abasto del agua se ha caracterizado por conformar un monopolio natural, no existe competencia ni incentivos para que otras empresas busquen participar en ese mercado, debido a que en este sector la inversión es alta y es difícil de recuperar ya que los precios son muy bajos, por lo que han sido los gobiernos los encargados de abastecerlo y, por tanto, los encargados de valorar su eficiencia y decidir en materia de mejora, modernización o cambios significativos en todo aquello que tenga que ver con este recurso, para el caso mexicano Rolland y Vega (2010) detallan que en 1982, mediante una reforma al artículo 115 Constitucional, se delegó a los municipios el manejo de los servicios de agua, alcantarillado y saneamiento, sin embargo, a partir de 1992, se ha impulsado la participación de los gobiernos estatales en la operación y administración de estos servicios públicos, los organismos públicos constituidos para tal fin tienen la responsabilidad de preservar los recursos hídricos, controlar su calidad y administrarlos de manera sustentable (Rolland y Vega, 2010).

En la prestación del servicio público del agua y alcantarillado, el enfoque que prevalece es el económico con la propuesta de la eficiencia técnica y económica. La eficiencia económica o total se origina en las características del mercado de este tipo de servicio, el monopolio natural, la ausencia de incentivos para motivar a las empresas privadas a participar y la alta probabilidad de ineficiencia ante los costos altos de mantenimiento.

La eficiencia económica es el resultado de sumar la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa, manteniendo una búsqueda constante de costos bajos para maximizar las ganancias. Entonces, en la prestación del servicio público del agua hay que valorar los costos en las distintas combinaciones de insumos y valorar los precios, así, la eficiencia se ve reflejada en el costo de entregar el agua a domicilio, en la producción medida en metros cúbicos, los precios del capital, la red de distribución y las horas de trabajo hombre pagadas en el mercado (Ferro, Lentini y Romero, 2011).

Con la incorporación del enfoque de la Nueva Gerencia Pública en las estructuras de gobierno, una valoración distinta comenzó a incorporarse en los procesos de prestación de servicios públicos, buscando privilegiar la Transparencia y la Rendición de Cuentas se buscó evaluar el desempeño y los resultados, esta valoración se ha institucionalizado a través de mecanismos como la construcción de Indicadores.

En la prestación del servicio de agua y alcantarillado también se ha considerado calcular la eficiencia a través de Indicadores de Desempeño en distintas categorías o grupos:

1. Indicadores parciales. Usualmente razones y porcentajes que refieren a los resultados en procesos y que son condensados en indicadores sintéticos.
2. Indicadores totales o agregados. Se dirigen a medir costos y producción para la comparación entre organismos prestadores de servicios.
3. Comparación con un ideal teórico. Indicadores de comparación en componentes técnicos y de procesos.
4. Métrica de procesos. Miden la eficiencia de los procesos productivos para identificar problemas en etapas específicas.
5. Comparación de desempeño de acuerdo a encuestas. En esta medición se valora el desempeño del prestador de servicios desde la perspectiva del consumidor para compararla con la de la gerencia, corregir desvíos, establecer metas y hacer cambios.

En los organismos prestadores de servicios públicos el uso de indicadores sintéticos para la medición del desempeño ha sido lo más práctico, ya que facilitan la simplificación de unidades de medida, se construyen con cálculos sencillos de divisiones y son fácilmente comparables. Algunas medidas posibles en los prestadores del servicio de agua son:

- $\text{Producto por empleado} = \text{Metros cúbicos entregados} / \text{Empleados a tiempo completo}$
- $\text{Producto por kilómetro de red} = \text{Metros cúbicos entregados} / \text{Kilómetros de red}$
- $\text{Costo medio por unidad de producto} = \text{Costo total} / \text{Metros cúbicos entregados}$
- $\text{Costo Total} = \text{Costo laboral} + \text{Costo no laboral}$
- $\text{Costo laboral unitario} = \text{Costo laboral} / \text{Empleados a tiempo completo}$
- $\text{Costo no laboral unitario} = \text{Costo no laboral} / \text{Kilómetros de red}$

A nivel internacional también se ha sistematizado el uso de indicadores sintéticos entre los prestadores de servicios públicos, tendiendo a homologarlos difundiendo las metodologías y conformando listas de indicadores para ser empleados en el sector, en América Latina existen ya algunos sistemas reconocidos a nivel internacional como son los de Argentina y Perú.

En Perú se utilizan indicadores de continuidad para valorar la eficiencia operativa como las horas promedio de prestación del servicio, el cloro residual, la cobertura por conexión domiciliaria, costo operativo por unidad de volumen facturada, agua no contabilizada como porcentaje del agua enviada a red, volumen medido respecto del volumen facturado, morosidad por mes, tiempo de respuesta a reclamos comerciales, entre otros.

La eficiencia operativa suele complementarse con indicadores de gestión como la tarifa promedio, costo operativo promedio, litros por habitante al día, porcentaje de agua no contabilizada, cobertura de agua, cobertura de alcantarillado, turbiedad del agua, etc.

En el caso de Argentina, existe un Sistema de Indicadores Técnicos (SIT), el cual es un mecanismo de control de los niveles de calidad de los servicios de agua potable y saneamiento del Área Metropolitana de Buenos Aires, sus resultados son

complementados con la valoración externa de auditorías e inspecciones que se realizan de forma periódica.

El sistema de prestación de servicio de Agua y Saneamiento se integra por la empresa concesionaria Agua y Saneamientos Argentinos S.A., y el Ente Regulador de Agua y Saneamiento ERAS, la empresa concesionaria presenta estadísticas e indicadores para su revisión correspondientes a las siguientes categorías: servicio de agua (volumen y caudal de producción), saneamiento (volumen y calidad de depuración y caudal y cortes en el transporte), calidad del agua (producida en cada planta y en las redes por área administrativa y geográfica), actividades de control de calidad de los afluentes industriales y el desempeño de los servicios de agua y cloaca por región y distrito (reclamos, cortes de servicio, atención al usuario).

En ambos casos los sistemas de indicadores han permitido monitorear la evolución de los aspectos de calidad que se presentan en la prestación del servicio público, y, además, comprobar que se cumple con el marco regulatorio aplicable a dichos servicios.

Ferro, Lentini y Romero (2011) refieren que a partir de los 70's se diversificaron las mediciones de la eficiencia encontrándose cuatro perspectivas:

- a. Eficiencia a partir de los factores o insumos. Esta medición se emplea cuando el nivel de producción se mantiene fijo, no se debe disminuir y se deben garantizar ciertos requerimientos de insumos en capital, o mano de obra por unidad de producción, en este caso la ineficiencia se origina en los insumos.
- b. Eficiencia a partir de los productos. Esta medida de eficiencia se aplica cuando se busca maximizar la producción restringiendo el uso de insumos, la ineficiencia se origina en la producción, la tecnología empleada o la escala de producto que se obtiene dadas ciertas combinaciones de insumos.
- c. Eficiencia insumo-producto. En esta medición la eficiencia se alcanza en el equilibrio entre producción e insumos, buscando optimizar los recursos sin sacrificar producción.
- d. Eficiencia a lo largo del tiempo. Mide la evolución temporal en el uso de los factores, producto y relación insumo-producto.

En los organismos prestadores de servicios públicos son particularmente importantes las mediciones que se dirigen a valorar los costos y los factores productivos, como la eficiencia técnica y económica, por lo que han sido preferidos por dichos organismos

aun cuando en la práctica se enfrentan a constantes dilemas para encontrar el equilibrio entre ellas, ya que existen diversas situaciones donde la eficiencia técnica puede ser económicamente ineficiente, un ejemplo de ello es el de las fugas de agua o pérdidas en la red, ya que al detectar y anular todas las fugas que se presentan se estaría mejorando la eficiencia técnica, pero económicamente resulta muy caro, en este caso, los organismos prestadores buscan encontrar el nivel económicamente eficiente cuando el valor del agua ahorrada equivale al costo de atender las fugas, si esto no es posible alcanzarlo, seguramente sea más viable dejar sin atender las fugas que erogar importantes cantidades de dinero intentando repararlas.

Otro ejemplo se encuentra en la productividad media del trabajo donde deben decidir entre distintas combinaciones de capital-trabajo para injerir en la producción, de forma que se obtenga mayor valor agregado por trabajador, pero no se incurra en altos costos. También se ha analizado el caso de las escalas de producción, como determinar el nivel óptimo de producción aún, cuando se encuentren trabajando con economías a escala.

Estas problemáticas, vinculadas a la eficiencia en la operación interna de los organismos prestadores de servicios, ha llevado a considerar que deben incluirse otro tipo de valoraciones donde se tomen en cuenta aspectos externos como la estructura del mercado, la fuente de agua utilizada y variables ambientales. (Ferro, Lentini y Romero, 2011).

Las características propias del mercado, donde se desempeñan las empresas u organismos prestadores del servicio de agua y alcantarillado, les limitan en las decisiones que pueden tomar alrededor del tema de la eficiencia, no cuentan con las ventajas que tienen otras empresas, ellos sólo pueden brindar servicio al mercado donde se encuentran, no tienen diversas fuentes para abastecerse del recurso que ofrecen, deben ajustarse a estándares de calidad en la purificación y tratamiento del agua rígidos y permanentes, no pueden migrar y buscar llegar a otros mercados, el capital físico que emplean es caro y su vida útil es larga y se someten a regulaciones normativas generalmente estrictas, todo ello les acotan los costos y los ingresos (Ferro, 1999).

Las técnicas de medición comparadas también han sido empleadas en la estimación de la eficiencia para la prestación de un servicio:

- a. Medidas de productividad parcial. Como los costos medios, valorar el costo por unidad de tiempo, por unidad de factor, es una referencia para la comparación entre los organismos.
- b. Medidas de eficiencia media. Estas mediciones emplean la econometría y buscan hacer predicciones para colocar controles que permitan garantizar la eficiencia en sus procesos.
- c. Fronteras no paramétricas. Emplean técnicas de programación matemática como el análisis envolvente de datos.
- d. Fronteras determinísticas y estocásticas. También emplean métodos matemáticos avanzados como la econometría.

Otras fuentes de información empleadas por las empresas para valorar la eficiencia son la contabilidad y las finanzas, empleando los datos de ingresos totales y de costos para definir algunas medidas de eficiencia, tal es el caso de los ingresos totales para determinar el valor agregado, restándoles el valor de los insumos o materias primas empleados en el proceso de producción, esta valoración se considera útil si los precios realmente reflejan la valoración social del bien, pero en las empresas prestadoras del servicio de agua se considera problemático emplear este tipo de valoración, debido a que no se desenvuelven en un mercado competitivo por lo que no puede existir una valoración social del bien, ya que al tratarse de un monopolio se tiene control total sobre el mercado, además, los precios suelen estar controlados y fijos por parte del gobierno sin nada que ver con las condiciones reales de escases del recurso.

En el tema de los costos también es difícil encontrar medidas adecuadas de eficiencia para los organismos o empresas prestadoras del servicio de agua, ya que existen dos categorías en costos, los de carácter operativo y los de capital. Los operativos pueden medirse con información contable, pero los de capital tienen cálculos más complejos donde se considera la tasa de retorno, el stock de capital, el valor del capital empleado y consumido durante el proceso de producción, la depreciación, los costos del mantenimiento del capital empleado y el costo de oportunidad que no es considerado en los registros contables.

La información empleada para la medición de la eficiencia en los servicios públicos depende del tipo de análisis que se quiere realizar y del enfoque con que se esté

midiendo la eficiencia, Bosch, Pedraja y Suárez (1998) destacan que en los servicios públicos las mediciones se han estado concentrado en valorar la eficiencia técnica y económica, mediante el uso de técnicas matemáticas que se agrupan en dos categorías: las técnicas paramétricas y las técnicas no paramétricas<sup>5</sup>. Bosch, Pedraja y Suárez (1998) describen que las técnicas paramétricas se fundamentan en las características tecnológicas del proceso de producción y se aplican empleando información precisa sobre la tecnología de producción y los precios de mercado.

Las técnicas no paramétricas son menos rígidas con la información y es suficiente con precisar algunas cualidades del proceso de producción. En la práctica se han empleado de forma indistinta ambas técnicas, algunas de ellas son: la técnica no paramétrica FDH<sup>6</sup> para medir la eficiencia técnica de los municipios con variables como total de empleados municipales, longitud de la red urbana, número de beneficiarios, subsidios, entre otras, también se ha utilizado la frontera de producción paramétrica estocástica con cinco variables, dos referentes al factor productivo trabajo como puede ser el número de empleados a tiempo completo, número de empleados a tiempo parcial, y tres variables referentes al factor productivo capital como puede ser la maquinaria o medios de transporte empleados, también está la técnica DEA (*Data Envelopment Analysis*), técnica no paramétrica para análisis de datos de corte transversal.

El interés por medir la eficiencia y emplear técnicas matemáticas cada vez más elaboradas en la prestación de servicios públicos, y sobre todo en la prestación del servicio público del agua, se debe a que este es un recurso escaso y de reconocida importancia para la economía y el desarrollo social de los países, en México nuestra máxima Ley, la Constitución, establece que las aguas nacionales son propiedad de la nación y es el gobierno el encargado de regular, controlar y gestionar el uso y explotación de las aguas en nuestro país. (Rolland y Vega, 2010)

---

<sup>5</sup> De acuerdo con Peretto (2016), las técnicas paramétricas y no paramétricas son parte de los métodos denominados “de frontera” para calcular la eficiencia productiva, los cuales se basan en las funciones de producción, de costos y de beneficios como funciones de frontera. Ambas técnicas se emplean para la estimación y especificación de dicha frontera. Las técnicas paramétricas: son las que especifican la tecnología mediante una forma funcional conocida. Según se modelice la naturaleza de la perturbación aleatoria, la frontera será: Determinística o Estocástica. Las técnicas no paramétricas son las que formulan las características de la tecnología mediante supuestos sobre el conjunto de producción. Se utilizan técnicas de programación lineal para su estimación. (Peretto, 2016, p.9-10)

<sup>6</sup> FDH Free Disposal Hull, modelo no paramétrico empleado en el cálculo de datos de corte transversal.

#### **1.5.4. La eficiencia en la prestación del servicio público del agua en México**

En México, la Ley de Aguas Nacionales (2020) establece en su artículo 9 que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el órgano superior con carácter técnico, normativo, y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico (Ley de Aguas Nacionales, 2020, p. 13), y se le ha encomendado el diseño de la política nacional de gestión urbana del agua.

De acuerdo con Pineda, Salazar y Buenfil (2010) la CONAGUA diagnosticó a los organismos de agua potable en México como carentes de capacidad técnica, tarifas bajas en sus servicios y captación ineficiente de ingresos, para corregir esto, la CONAGUA diseñó, a finales de los años 90's, un esquema nuevo para la prestación de los servicios urbanos que se fundamenta en la creación de organismos descentralizados y autónomos de los gobiernos, que pueden ser operados como empresas paramunicipales o como empresas concesionarias privadas, y definió un perfil contemplando cinco aspectos:

1. Fortalecimiento de la autonomía de los organismos operadores y sus habilidades administrativas, otorgándoles capacidad legal y patrimonio propio para convertirse en empresas públicas descentralizadas.
2. Democratización de los consejos administrativos de los organismos operadores, eliminando la simulación legal y promoviendo la representación y participación real de los ciudadanos.
3. Adopción de medidas necesarias para asegurar que los recursos financieros, provenientes del cobro de tarifas a los usuarios, se reinviertan en el mismo servicio y no se utilicen para otros fines.
4. La decisión y aprobación de las tarifas de agua será realizada por los consejos directivos de los organismos operadores.
5. Autosuficiencia financiera y mayor capacidad técnica y administrativa de los organismos operadores de agua.

Pineda, Salazar y Buenfil (2010) destacan que estos lineamientos de la CONAGUA no se han aplicado en su totalidad, sobre todo en lo que respecta a la participación privada, ya que los organismos operadores del agua son en su mayoría públicos, y sólo en Aguascalientes y Cancún existen concesionarios privados, esto ha repercutido en el desempeño de los organismos ya que los titulares suelen ser designados con base en

criterios políticos, siendo rotados constantemente y sus estándares de mejora se han limitado a la cobertura y a la eficiencia en la distribución física y cobro de la facturación.

Por ello, la CONAGUA ha buscado contribuir al fortalecimiento y mejora de los organismos operadores del servicio del agua en el país con el desarrollo de Programas Nacionales como:

- ❖ Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU)
- ❖ El Programa de Devolución de Derechos (PRODDER)
- ❖ El Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA)

El APAZU fue un programa dirigido a la construcción y ampliación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en localidades de más de 2,500 habitantes, apoyando en la construcción de infraestructura como mecanismo para ampliar la cobertura de los servicios.

El PRODDER mantuvo como objetivo mejorar la eficiencia y la infraestructura de los servicios de agua mediante la devolución, a los organismos operadores, del pago de derechos de uso de aguas nacionales para que sean reinvertidos en la construcción y rehabilitación de la infraestructura. El PROMAGUA, fue un programa dirigido a localidades con más de 50,000 habitantes que promueve la mejora en los servicios a través de la participación de capital privado.

Este programa se enfocó en atender las carencias que existen en la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, a través de la participación del capital privado como complemento de los fondos no recuperables que aporta el programa. Para poder recibir los apoyos de este programa, los organismos debían fomentar un cambio estructural incorporando tecnología de punta, impulsando la autosuficiencia y promoviendo el cuidado del medio ambiente.

Estos programas permanecieron vigentes durante la Administración Federal 2014-2018. Actualmente, la CONAGUA ha emitido el Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento (PROAGUA) que tiene como propósito ampliar la cobertura orientada al acceso de servicios básicos de agua, alcantarillado y saneamiento, así como mejorar las condiciones de la infraestructura existente en la población vulnerable de localidades

urbanas y rurales del país. Así mismo, emite documentos técnicos que buscan acompañar a los organismos en la mejora de su desempeño.

Para CONAGUA la eficiencia del sistema de agua potable es la “capacidad de captar, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua, desde la fuente natural hasta los consumidores con un servicio de calidad total” (CONAGUA, 2012, 10), y el contexto propicio para alcanzar esta eficiencia se presenta en tres escenarios:

- a. El de la ingeniería del sistema de abastecimiento
- b. El de la comercialización de los servicios de agua potable
- c. El del desarrollo institucional del organismo operador

En lo que refiere a la ingeniería del sistema de abastecimiento se deben cumplir la eficiencia física, la eficiencia hidráulica, la eficiencia energética y la calidad del agua. En la comercialización de los servicios de agua potable se busca alcanzar la eficiencia en facturación, cobranza, contabilidad, padrón de usuarios, estimación de consumos, tarifas, control de suministros, comunicación y transporte y comunicación social.

En referencia al desarrollo institucional se busca alcanzar la eficiencia en aspectos como la autonomía organizada, liderazgo, administración de personal, orientación financiera, orientación al consumidor, capacidad técnica, formación de personal, interacción con instituciones externas.

#### **1.5.5. El modelo de eficiencia de CONAGUA**

La eficiencia total de la calidad del servicio de agua potable contemplado por CONAGUA es complejo y los organismos operadores suelen tener dificultades para mantenerse en los niveles aceptables de eficiencia, por ello, la CONAGUA ha emitido manuales de asistencia técnica que permiten a los organismos conocer y adoptar metodologías válidas y homogéneas que les faciliten dar cumplimiento a los estándares de eficiencia esperados.

Para el tema de la eficiencia en ingeniería de distribución y producción ha generado el Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable, para los escenarios de eficiencia en la comercialización del servicio y la eficiencia en el desarrollo institucional se generó el documento denominado “Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable”.



Figura 1 Modelo de Eficiencia CONAGUA

Fuente: Tomado de CONAGUA (2012). Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable. Pp. 1

### 1.5.5.1. La eficiencia en el escenario de ingeniería de producción y distribución

Para la estimación de la eficiencia, en este escenario, la CONAGUA sugiere un análisis a detalle de toda la información referente a la ingeniería e infraestructura empleada por el organismo operador, y de acuerdo con el Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable se requiere de la siguiente información:

De carácter general:

1. Padrón de beneficiarios
  - ❖ Número de tomas domiciliarias
  - ❖ Número de tomas por colonia
  - ❖ Número de tomas por clase socioeconómica
  - ❖ Número de tomas por ruta de lectura
2. Relación y estudios de factibilidades
  - ❖ Cobertura de la red y del servicio
  - ❖ Zonas de crecimiento de población
3. Oficinas gubernamentales
  - ❖ Clima
  - ❖ Índice de hacinamiento
  - ❖ Población histórica
  - ❖ Planos de traza de calles, colonias y nombres

De tipo técnica:

1. Estadísticas de producción
  - ❖ Volúmenes suministrados al sistema
  - ❖ Caudales producidos en las captaciones
  - ❖ Características de los macromedidores instalados en puntos de suministro
2. Archivos digitales y mapotecas
  - ❖ Planos de la red de agua potable
  - ❖ Planos de perfiles de conducciones
  - ❖ Planos de topografía
  - ❖ Proyectos ejecutivos anteriores
  - ❖ Planos de lotificación y predios
  - ❖ Croquis de detalle de fontanería
3. Estadísticas de mantenimiento
  - ❖ Ocurrencia histórica de fugas

De tipo comercial:

1. Facturación
  - ❖ Consumos de agua por tipo de usuario
  - ❖ Políticas de facturación y cobro
2. Estadísticas de Mantenimiento
  - ❖ Características de micromedidores

De tipo operativa (energética)

1. Facturación de energía eléctrica
  - ❖ Datos generales del suministro eléctrico
2. Planos, inventario de equipos y recorrido de campo
  - ❖ Infraestructura eléctrica
  - ❖ Infraestructura mecánico-hidráulica
3. Mantenimiento
  - ❖ Bitácoras de mantenimiento, programas institucionales

De tipo Institucional:

1. Informes ejecutivos
  - ❖ Indicadores de gestión
  - ❖ Planes maestros y de factibilidad
  - ❖ Organigrama de la institución
  - ❖ Programas Interinstitucionales

#### **1.5.5.1.1. La eficiencia técnica**

Para la construcción del modelo de eficiencia técnica se diseñan elementos de eliminación y control de fugas, enmarcados en un programa estratégico de acciones para incrementar la eficiencia en el funcionamiento del sistema de agua potable. Este modelo debe contemplar:

- a. La elaboración del diagnóstico del nivel de fugas actual
- b. Identificación de causas que originan el estado actual de fugas
- c. Diseñar medidas preventivas y facilitadoras de reducción y control de fugas
- d. Definir las acciones para la eliminación intensiva de fugas y alcanzar un nivel aceptable
- e. Diseñar el programa permanente de control de fugas para mantener un nivel aceptable
- f. Estimar los costos, realizar la calendarización y diseñar los esquemas de financiamiento

#### **1.5.5.1.2. La eficiencia hidráulica**

Esta eficiencia es la relación entre la capacidad de captación, conducción y distribución del agua con la que cuenta un sistema hidráulico de abastecimiento urbano, y la capacidad real con la que funciona dicho sistema (CONAGUA, 2012, p.64), aunque no existe un indicador específico que permita valorar esta eficiencia, la CONAGUA sugiere parámetros de disponibilidad espacial y temporal del agua a los usuarios como:

1. Consumo unitario de los usuarios (l/h/día)
2. Dotación (l/h/día)
3. Continuidad del servicio de agua (horas/día)
4. Déficit entre el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios (+-%)
5. Presión media del agua en la red de distribución (kg/cm<sup>2</sup>)

#### **1.5.5.1.3. La eficiencia energética**

Esta eficiencia se determina mediante técnicas que miden el uso de la energía en el sistema de agua potable y especifican cuánta de esa energía es desperdiciada, los elementos para el suministro y transformación energética necesarios para la producción,

suministro y tratamiento de agua, van desde el medidor de consumo del suministrador de energía, el transformador del centro de control de motor, el motor eléctrico, la bomba y la disposición final del agua potable y residual.

La estimación de este tipo de eficiencia requiere de dos tipos de metodología:

1. De campo. Donde se revisan los parámetros eléctricos y los parámetros hidráulicos.
2. De gabinete. Donde se analiza información sobre la eficiencia de motores, la eficiencia de bombas, las pérdidas en líneas de conducción, los costos de la energía, indicadores energéticos, balances de energía, prácticas de operación y prácticas de mantenimiento.

#### **1.5.5.1.4. Calidad del Agua**

La calidad del agua es resultado de la demanda, para el caso de las aguas subterráneas, de las aguas usadas como las municipales, industriales, agrícolas, pecuarias, etc., de su recolección, de la eficiencia de su tratamiento y de la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua en que se descarguen. Las valoraciones que se toman en cuenta en la calidad del agua son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (SDT).

#### **1.5.5.2. La eficiencia en el escenario de comercialización del producto**

Los organismos operadores de agua potable y saneamiento se integran básicamente de cinco sistemas: operacional, comercial, de planificación, financiero y administrativo, y cada uno de estos sistemas cuenta con un sistema propio de información o bien, se puede contar con un Sistema de Información de todo el organismo operador.

Planificación	Operacional	Comercial	Financiero	Administrativo y de apoyo
Realiza el diagnóstico para la cuantificación de la problemática, situación actual, cobertura, establecer metas, etc. Debe formular los planes de la institución para análisis de alta gerencia, realizar la planificación estratégica, táctica y operacional y establecer un sistema de información para control gerencial y estructurar los subsistemas de planificación física, organizacional, económico-financiera y de programación y control.	Corresponde con los recursos y actividades necesarios para administrar la elaboración de proyectos y la construcción de obras, así como para operar los sistemas de agua y de alcantarillado y mantener las instalaciones y equipos utilizados en los sistemas. Funciona a través de sus tres subsistemas: Gerencia de proyectos y obras, operación y mantenimiento	Se encarga de la promoción y venta de los servicios y de la recuperación de costos que a su vez permita alcanzar la autosuficiencia financiera del organismo. Busca promover la expansión y el mantenimiento del mercado consumidor, registrar los consumidores y establecer una cuenta para cada uno de ellos.	Es el conjunto de políticas y normas establecidas por la institución para la realización de sus operaciones financieras, además incluye los procedimientos y métodos para registrar y evaluar la gestión financiera e informar los resultados. Lo integran los subsistemas de: Administración de recursos financieros y Contabilidad.	Se integra por los sistemas de: Administración y Desarrollo de Recursos Humanos, Administración de Suministros, Administración de Patrimonio, Administración de Transportes y el sistema de Comunicación Social.

Figura 2 Sistemas básicos de un Organismo Operador

Fuente: Con información de CONAGUA, 2017. Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable: Organización y funcionamiento para una mejor calidad del servicio. p.30

El sistema comercial de los organismos operadores de agua es importante para el buen funcionamiento del organismo, ya que se encarga de recaudar los ingresos por la prestación de sus servicios, y con ello, hacer frente a los costos operativos y administrativos, además, contribuye a las inversiones para construcción y ampliación de la infraestructura hidráulica. Las áreas comerciales trabajan con su padrón de usuarios buscando que paguen con oportunidad los servicios.

Los organismos operadores tienen numerosas problemáticas, las más comunes son: la existencia de usuarios clandestinos reincidentes, usuarios morosos, pérdidas físicas, las cuales consisten básicamente en fugas en tuberías, en cajas de válvulas y en conexiones domiciliarias, así como derrames en tanques de almacenamiento.

Asimismo, se tienen las pérdidas comerciales que se pueden disgregar en pérdidas de facturación y pérdidas de recaudación. Entre las primeras se encuentran los usuarios no registrados y usuarios clandestinos, así como pérdidas por errores de medición de consumos y de estimación de consumos en predios sin medidor. (CONAGUA 2017)

El servicio de agua potable considerado de calidad es aquel que se suministra en cantidad suficiente, con la calidad del líquido conforme a lo establecido en la Norma Mexicana respectiva, de manera continua las 24 horas del día de forma confiable y a un

costo adecuado, estas condiciones sólo son cumplidas en los organismos operadores más eficientes. Por ello, la eficiencia en la comercialización del producto juega un rol importante para garantizar un servicio de calidad y contribuir a la consolidación de un sistema eficiente en la prestación del servicio de agua.

#### **1.5.5.2.1. Facturación y Cobranza**

Las pérdidas comerciales pueden ser de varios tipos:

- ❖ De facturación debido a las conexiones clandestinas de agua potable, la submedición de consumos, y errores de estimación de consumos en tomas de cuota fija, aquí mismo puede haber pérdidas por errores de lectura en los aparatos de medición, lecturas inventadas, errores en la descarga de datos en el sistema informático comercial, errores de procesamiento y otros.
- ❖ Problemas de pago y de cobro, cuando los organismos no hacen las notificaciones de forma regular para informar a los usuarios sus consumos periódicos, los montos respectivos y demás información, para que los cubran mediante alguna de las opciones dispuestas por los organismos.
- ❖ De recaudación, como es la cartera vencida y los usuarios morosos.
- ❖ El manejo discrecional, sin control, y sin justificación de descuentos a usuarios.

En la práctica es difícil distinguir entre las pérdidas físicas y las comerciales, por lo que se adopta un concepto denominado Agua No Contabilizada (ANC), que refiere a las pérdidas físicas que abarca hasta la facturación.

La eficiencia de los organismos operadores de agua suele ser la denominada Eficiencia Global, que es el resultado de sumar la Eficiencia Física y la Eficiencia Comercial.

$$\text{Eficiencia física} = (\text{Volumen facturado} / \text{Volumen producido}) * 100$$

$$\text{Eficiencia comercial} = \frac{(\text{Volumen recaudado})}{\text{Volumen facturado}} * 100$$

$$\text{Eficiencia global} = [(\text{Volumen facturado} / \text{Volumen producido}) * (\text{Volumen recaudado} / \text{Volumen facturado})] * 100$$

La eficiencia física es el resultado de lograr la eficiencia de conducción y la eficiencia de distribución, por lo que en su cálculo está contemplado el volumen de agua facturado y el volumen de agua producido, en este tipo de eficiencia un concepto internacional aplicado es el Agua No Rentable (ANR), la cual se integra por las pérdidas reales (fugas y derrames) y las pérdidas aparentes (consumo no autorizado e inexactitudes de medición), este concepto contempla también el consumo no cobrado, y abarca todas las pérdidas hasta la facturación por lo que es equivalente al concepto de Agua No Contabilizada (ANC).

De acuerdo con información del Banco Mundial (2006), el ANR es del 35% en los países en desarrollo, de los cuales 60% son pérdidas físicas y 40% son pérdidas comerciales, esto equivale a 16.1 mil millones de m<sup>3</sup> anuales en pérdidas físicas y 10.6 mil millones de m<sup>3</sup> anuales en pérdidas comerciales, esto a su vez representa pérdidas económicas que equivalen a un total de 5.8 mil millones de dólares al año, por ello, es de vital importancia brindar la atención debida a las pérdidas que se presentan en los organismos operadores de agua, ya sea de tipo físicas o comerciales.

Para controlar las pérdidas comerciales la CONAGUA establece atender cuatro aspectos de la facturación y cobro:

1. Sub medición, ya que tiende a incrementarse a medida que se deterioran los medidores
2. Robo de agua, evitando las conexiones ilegales y el daño deliberado a los medidores
3. Errores de lectura en medidores, corregir equivocaciones o lecturas incorrectas deliberadas (inventadas)
4. Errores de contabilidad del agua, corregir anomalías de facturación como estimaciones de cómputo que no reflejen los valores de consumo

#### **1.5.5.2.2. El padrón de usuarios**

Este componente brinda certeza a las comerciales y técnicas, por lo que debe procurarse su actualización y mantenimiento. Las irregularidades en el padrón de usuarios repercuten en los procesos de facturación y cobro de los servicios, y genera problemas al atender solicitudes de servicio o reclamos. El padrón de usuarios debe considerar:

- a. Usuarios reales, que son quienes efectivamente disponen del servicio
- b. Usuarios factibles, aquellos que se ubican en zonas donde existe red de distribución, pero no cuentan con el servicio
- c. Usuarios potenciales, los que se ubican fuera del área de influencia.

Las problemáticas que deben atender los organismos operadores de agua, en lo que refiere al Padrón de Usuarios son numerosas:

1. Usuarios clandestinos
2. Reconexiones no autorizadas
3. Mala estimación del consumo de usuarios de cuota fija
4. Mala estimación de consumos promedios a usuarios con medidor descompuesto
5. Desconocimiento de los cambios de giro
6. Errores en el registro del medidor por antigüedad
7. Errores en dar de baja o alta el medidor
8. Instalación de medidores mal dimensionados
9. Error humano en tomas de lectura
10. Deficiencias en la repartición de boletas
11. Desconocimiento de los usuarios morosos por años sin pagar
12. Dificultad para efectuar cortes y reaperturas
13. Deficiencias en la atención a usuarios
14. Desconocimiento de usuarios potenciales

Estas problemáticas repercuten en otras que impactan otras áreas del organismo ya que tienen injerencia directa en los problemas de agua no facturada y por tanto no cobrada, generan deficiencias en el proceso de facturación, generan deficiencias en el proceso de cobranza, aumento de la cartera vencida, deficiente operación y mantenimiento, escasos recursos para nuevas inversiones, usuarios inconformes y población no atendida.

Por tanto, los organismos operadores deben trabajar en la actualización de su padrón de usuarios día a día y organizarlo por categorías para un mejor control, de manera general se considera que el padrón de usuarios puede contener los siguientes tipos:

- a) Activos: Usuario que dispone de una conexión de agua potable y/o drenaje, independientemente de la situación de esta (activa, inactiva o cortada). Es un usuario legalmente conectado.

- b) Factible: Usuario que no dispone de conexiones, pero tiene la posibilidad de instalar una conexión de agua potable y/o drenaje debido a que frente a su predio existe una red.
- c) Potencial: Usuario que no dispone de ningún tipo de conexiones y que para tenerla requeriría de obras de ampliación debido a que frente a su predio no pasa una red.
- d) Clandestino: Usuario que hace uso de los servicios de agua potable y/o drenaje sin autorización del organismo operador. Es decir, se ha conectado por su propia cuenta a la red y, desde un inicio, no está registrado en el Padrón de usuarios.

Para dar mantenimiento al padrón de usuarios la CONAGUA recomienda:

- Cuando solicita el usuario el cambio de nombres, datos de identificación del contrato (dirección, teléfono, etc.).
- Cuando se realizan modificaciones o cambios necesarios al padrón de usuarios, como pueden ser: cambios de nombre, dirección, tarifa, dirección fiscal, dirección catastral, zona económica, giro comercial, servicio de alcantarillado, activación, inactivación, deshabitada, bajas definitivas (cancelación de contrato) y RFC; por lo general éstos son los datos solicitados por los departamentos adscritos a la Subdirección de Comercialización o por el mismo usuario.
- Empleando los tres procedimientos que maneja el Departamento del Área Comercial: Altas al Padrón, Baja y suspensión temporal.
- Correcciones al Padrón. Esta opción se realiza cuando los recursos económicos se obtienen a través de un programa financiero.
- Inspecciones domiciliarias. Esto procede cuando el usuario presenta un reclamo y se tiene que verificar las instalaciones externas e internas de la toma domiciliaria, en este momento corroborar: estado el medidor, datos del usuario, situación del servicio entre otros datos.

#### **1.5.5.2.3. Estimación de Consumos**

En este elemento de la comercialización se utiliza la micromedición que es el conjunto de acciones que permite conocer sistemáticamente el volumen de agua consumido por los usuarios, lo que garantiza que el consumo se realice dentro de los patrones establecidos y que la cobranza sea justa y equitativa por los servicios prestados (Cohelho, A. C., 1995). De acuerdo con la CONAGUA (2017), la micromedición es uno

de los factores más importantes para lograr la eficiencia total en la calidad de los servicios de agua potable en el escenario de la comercialización del producto.

Las cuotas que se cobran a los consumidores influyen en su comportamiento como usuarios del recurso, si se cobra una cuota fija el usuario tiene derecho a utilizar toda el agua que desee, y si cambia el consumidor no cambiará sus hábitos y fomentará el desperdicio, ya que el consumidor no tiene incentivo para mantener en buen estado el sistema de distribución en su domicilio, por tanto, la medición de consumos permite conocer la demanda de los diferentes tipos de usuarios, lo que

proporciona parámetros realistas que son necesarios para la elaboración de proyectos de expansión. Sin la medición no puede haber un control efectivo de la producción, de la distribución y del consumo de agua (CONAGUA, 2017).

Con la medición de consumos y la aplicación de un sistema tarifario adecuado se induce al usuario a reducir consumos y desperdicios, con lo cual se generan beneficios técnicos, financieros, sociales y económicos (Cohelho, 1995), por tanto, el consumo de agua debe cobrarse con base en el consumo medido.

La eficiencia en este componente requiere de:

- a. Instalación de medidores en tomas de cuota fija
- b. Instalación de medidores en las tomas nuevas
- c. Sustitución de medidores deteriorados
- d. Sustitución de medidores por antigüedad
- e. Realizar lecturas exactas, para lo que se requiere personal capacitado y certificado
- f. Mantener actualizada el área de micromedición

#### **1.5.5.2.4. Tarifas**

Con el propósito de garantizar la cobertura, maximizar el número de horas en las que se provee el recurso, alcanzar la calidad requerida en el agua suministrada y atender zonas marginadas, los organismos operadores buscan mejorar su captación de ingresos propios, y para ello deben de contar con: sistemas de cobro sofisticados y mantener la eficiencia en el cobro del servicio. Con base en estos propósitos los organismos operadores han buscado la modernización de sus sistemas de cobro y, utilizando la tecnología, han logrado digitalizar sus procedimientos de cobro y diversificarlos.

Un mecanismo empleado por los organismos operadores para mejorar la captación de ingresos es definir la frecuencia de facturación, y en esto se destaca que la frecuencia óptima es el cobro bimestral o trimestral, ya que el cobro mensual es un periodo de tiempo corto para el pago de los usuarios, y suelen acumularse pagos pendientes, y la facturación anual implica montos muy altos que muchas veces los usuarios no pueden pagar.

El definición de tarifas es un tema complejo para los organismos operadores, debido a que son autorizadas por los Congresos locales, además, existe falta de mandato de auto-sustentabilidad financiera, y por ello, los organismos operadores no están obligados a operar como empresas productivas de carácter paraestatal, y no necesariamente tienen que cubrir sus costos con ingresos propios, son altamente dependientes de los recursos y subsidios federales de la CONAGUA, así como de los apoyos de los gobiernos estatales y de las transferencias del gobierno federal.

Las tarifas usualmente no reflejan el costo real ya que sufren distorsiones en el mercado como son los subsidios gubernamentales, por ello deben acompañarse de sistemas eficientes que recuperen la cartera vencida y disminuyan las problemáticas en los pagos y facturación. Las tarifas de agua deben contemplar los siguientes aspectos:

- Derechos de extracción
- Costos de energía eléctrica
- Costos de distribución y operación
- Costos de tratamiento y pruebas de calidad del agua
- Costos de reposición y mantenimiento de maquinaria y equipo
- Costos de personal (sueldos y salarios)
- Gastos de administración, de gestión y cobranza
- Inversiones en Infraestructura
- Costos de servicios de alcantarillado y drenaje

#### **1.5.5.3. La eficiencia en el escenario del Desarrollo Institucional**

De acuerdo con la CONAGUA (2009) y (2017) en este escenario se requiere del fortalecimiento de las eficiencias en la autonomía organizativa, el liderazgo del personal directivo, la administración de personal, la orientación financiera, los esquemas orientados hacia el consumidor, la capacidad técnica del personal, la capacitación del

personal y la interacción con instituciones externas. Por lo que las eficiencias de este escenario requieren de acciones conjuntas entre los organismos y las instancias rectoras del sector como la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la CONAGUA.

La eficiencia de carácter institucional refiere a un ecosistema óptimo para el pleno desarrollo y fortalecimiento de los organismos operadores en aspectos de índole estratégico y ejecutivo, por lo que la propuesta de CONAGUA (2012) es fortalecer la autonomía y sustentabilidad financiera de los organismos, la capacidad técnica, la planificación de la eficiencia y la calidad del servicio.

#### **1.5.5.3.1. *Autonomía y Sustentabilidad Financiera***

En lo que refiere a la autonomía y sustentabilidad financiera, el objetivo es que los organismos operadores mejoren su eficiencia al ser autónomos, bajo reglas claras de recuperación de costos y asignación de subsidios, de forma que los mecanismos de financiamiento del sector funcionen como incentivos para la mejora de la eficiencia, con este propósito la CONAGUA ha generado diversos programas federales que apoyan financieramente a los organismos y ha promovido la autonomía de gestión, impulsando la conformación de organismos operadores públicos descentralizados con autonomía técnica y de gestión, y con patrimonio propio a través del otorgamiento de subsidios a la inversión.

Los modelos de gestión tradicionalmente utilizados en México, se basan en la administración municipal o estatal, y se ha avanzado hacia modelos de gestión con participación pública y privada mediante el Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua PROMAGUA.

Otro componente del desarrollo institucional es la planificación estratégica, a través de la realización de estudios de diagnóstico, planeación integral y estudios simplificados de la situación del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento, proveyendo a los organismos operadores de bases técnicas independientes, que toman como referencia para planear y definir metas y objetivos. Sin embargo, el área de oportunidad se encuentra en la necesidad de fortalecer los sistemas de información que manejan los organismos operadores, ya que siguen elaborando sus planes con base en conocimientos generales y suposiciones acerca de la condición que guardan en cada uno de sus sistemas.

Los cambios de administración a nivel gobierno, y en el organismo operador, producen falta de continuidad en la gestión y dificultan la accesibilidad a la información por parte de los nuevos funcionarios, por lo que el nuevo personal debe iniciar, en muchos casos, la gestión de la infraestructura prácticamente de cero, con efectos negativos sobre el servicio y la satisfacción de los clientes (CONAGUA, 2012). Los programas anuales no tienen sustento, ni visión a largo plazo, no se actualizan y no se siguen como lineamientos rectores de las acciones que emprende el organismo.

En este sentido, se busca fortalecer que en los organismos operadores de agua los recursos, planes, programas, estrategias y acciones estén orientados a resultados, y que dichos planes y programas cumplan con criterios de sostenibilidad.

#### **1.5.5.3.2. Capacidad Técnica**

En el tema de la capacidad técnica, se reconoce la importancia de la capacitación y el entrenamiento del personal en los organismos operadores, y se trabaja en programas de intercambio de personal entre organismos, la capacitación y la certificación del personal.

En lo que respecta a la capacitación se promueve la participación del personal en cursos en línea y en cursos presenciales mediante acuerdos con Instituciones de Educación Superior, además, se han diseñado guías para la capacitación del personal y fortalecer los resultados en el tema de las eficiencias, se han conformado sociedades de aprendizaje por tema de interés ofreciendo cursos de capacitación, el reto con los organismos operadores es que estos esquemas de capacitación logren institucionalizarse y formen parte de sus acciones a seguir periodo a periodo.

En lo que refiere a la certificación, se ha desarrollado un marco normativo y regulatorio para promover la certificación del personal en los organismos operadores, dichas certificaciones están a cargo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual, a nivel nacional, se encarga de certificar, pero también de instrumentar el servicio civil de carrera del sector del agua.

Las certificaciones se limitan a funciones particulares como los análisis de pruebas de agua, además es voluntario y no es exigido dentro del sector. Por tanto, se busca eficientar este componente, logrando incorporar las certificaciones como parte sustancial de la capacitación a la que debe acceder el personal del organismo.

En materia de Transparencia y rendición de cuentas se buscan fortalecer dos temas en los organismos operadores:

- a. Los indicadores de desempeño y *benchmarking*, en este tema a nivel nacional se trabaja para lograr que los sistemas de indicadores de desempeño estén estandarizados y acorde a estándares internacionales, con el propósito de realizar comparaciones a nivel nacional e internacional. Sin embargo, a nivel local muchos organismos carecen de un sistema de indicadores de desempeño y de gestión, por lo que se tiene que fortalecer este aspecto.
- b. Rendición de cuentas, con base en lo establecido en la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, se busca consolidar estándares de contabilidad regulatoria que permitan incrementar la transparencia en la información financiera de los organismos, además de que existen pendientes en la conformación de una contabilidad regulatoria estandarizada, y no existen sistemas de rendición de cuentas estándares que se apliquen a nivel federal.

#### **1.5.5.3.3. Calidad del servicio**

La mejora en la calidad del servicio incluye acciones que contribuyan a la continuidad, calidad del agua y la confiabilidad en el servicio, y para ello se busca fortalecer a los organismos operadores en dos ámbitos:

1. Inversión en la calidad, generar programas que apoyen a la mejora en infraestructura, entre ellos se encuentran el APAZU, PRODDER y PROMAGUA.
2. Regulación de la calidad, se han desarrollado estándares de diseño de acueductos, alcantarillado y drenaje, mediante manuales de aplicación general y para referencia de los organismos como el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento MAPAS, sin embargo, este es un componente que debe complementarse con normatividad sobre la calidad del agua para consumo humano y descargas de afluentes.

Aún, cuando la propuesta de CONAGUA es un modelo integral, es complejo para llevarlo a la práctica y poder cumplir con cada uno de sus elementos, de acuerdo con Lutz y Salazar (2011) la investigación sobre la eficiencia de los sistemas urbanos de agua se ha dirigido mayormente a realizar estudios de casos individuales, para analizar algunos aspectos de la funcionalidad o del desarrollo institucional de un organismo operador en periodos breves y desde un punto de vista casi siempre descriptivo.

Uno de los factores que han conducido a ello ha sido la dificultad para obtener información confiable y consistente que sea suficiente, tanto para estudios transversales como longitudinales (Lutz y Salazar, 2011, p.2), por ello, las medidas de eficiencia empleadas para valorar a los organismos operadores son la eficiencia física, la eficiencia comercial y la eficiencia global.

## **1.6. Estudios sobre la eficiencia física, económica y global**

**Título:** Evolución y perfiles de eficiencia de los organismos operadores de agua potable en México.

**Autores:** América N. Lutz y Alejandro Salazar Adams

**Año:** 2011

**Metodología:** Cuantitativa

**Periodo evaluado:** 2002-2008

**Muestra:** Se seleccionó a los organismos operadores de agua en localidades de más de 50,000 habitantes y en las que se contará con información sobre su eficiencia física, eficiencia comercial y eficiencia global.

**Análisis:** Se dividió en dos etapas: en la primera etapa se obtuvo la estadística descriptiva de los tres tipos de eficiencia y se contrastaron con los niveles de inversión realizados en el sector y específicamente en el mejoramiento de la eficiencia para observar asociaciones entre ambas variables. En la segunda etapa se trabajaron las localidades que contarán con información de eficiencia física y comercial y se crearon gráficas de doble entrada para ubicar a cada una de acuerdo a sus puntajes.

En cada eje se ubicaron líneas indicando la media o promedio de cada valor de eficiencia, indicando una desviación estándar por arriba y por debajo de la media e indicando dos desviaciones estándar también por arriba y por debajo de la media.

**Resultados:** Los tres tipos de eficiencia permanecen relativamente sin cambios entre 2002 y 2008. La eficiencia física oscila entre 55% y 64%, la eficiencia comercial oscila entre 73% y 76% y las eficiencias globales están entre 41% y 50%.

La inversión realizada por los organismos operadores para el mejoramiento de la eficiencia mantiene una tendencia ascendente y es mayor en las zonas urbanas, los resultados también permiten observar que los montos invertidos no son suficientes para solventar los problemas de mantenimiento físico ni de administración de los sistemas

Se presentan también los resultados por año y por entidad federativa:

Año	Resultado	Localidades de ubicación
2002	Eficiencia física y comercial por arriba de la media	Mexicali, Tijuana, Tecate y Ensenada
2002	Eficiencia física por arriba de la media	Hermosillo, Celaya, Mazatlán
2002	Eficiencia comercial por arriba de la media	Puerto Vallarta y Zacatecas
2002	Eficiencia física y comercial por debajo de la media	Puebla y Fresnillo
2005	Eficiencia física y comercial por arriba de la media	Mexicali, Tijuana, Ciudad Juárez, Delicias, Cozumel, Hidalgo del Parral, Aguascalientes y León.
2005	Eficiencia física por arriba de la media	Cancún, Mazatlán, Martínez de la Torre, Puebla y Los Mochis
2005	Eficiencia comercial por arriba de la media	Zacatecas, Cadereyta, Linares, Acapulco y Mérida
2005	Eficiencia física y comercial por debajo de la media	Huachinango, Iguala, Villahermosa, Ciudad Obregón y San Francisco del Rincón
2008	Eficiencia física y comercial por arriba de la media	Mexicali, Ensenada, San Juan del Río, Ciudad Victoria y Aguascalientes
2008	Eficiencia física por arriba de la media	Ciudad Juárez, Tijuana, Zamora, Mazatlán y Pachuca
2005	Eficiencia comercial por arriba de la media	Hidalgo del Parral, Ciudad Mante, Tuxtla Gutiérrez y San Francisco del Rincón
2008	Eficiencia física y comercial por debajo de la media	Iguala, Juchitán e Irapuato

Tabla 1 Resultados de eficiencia por localidad

Fuente: Elaborado con información de Lutz y Salazar (2011).

**Título:** Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México

**Autores:** América N. Lutz Ley y Alejandro Salazar Adams

**Año:** 2015

**Metodología:** Cuantitativa

**Periodo evaluado:** 2005-2011

**Muestra:** Se evaluaron 106 organismos ubicados en ciudades de más de 50,000 habitantes.

**Análisis:** Se realizó un análisis de componentes para 13 variables considerados indicadores representativos de los organismos operadores de agua.

**Resultados:** En promedio la eficiencia física es del 52.7% en los organismos operadores en México, 47.3% del agua no se factura, la gran mayoría se pierde en fugas de las redes de distribución. La eficiencia comercial es, en promedio del 76.3 %, el 23.7% es agua que no se paga.

Los ingresos de los organismos permiten pagar el 80% de los costos de producción y el otro 20% se realiza mediante deuda. Las tarifas son bajas, existen organismos con más empleados de los que se requieren en las redes de distribución, existe subestimación del agua total facturada, entre otros resultados.

El análisis de componente demostró que la eficiencia física es más baja en organismos con más empleados, es más baja en organismos con altos costos de producción y bajas tasas de precipitación.

La cobertura de agua se correlaciona positivamente con el PIB Per cápita y con el número de tomas. Las altas tasas de crecimiento demográfico afectan los resultados en cobertura. Los organismos operadores con mejor desempeño se ubican en el norte del país donde escasea el agua y los de peor desempeño en la parte sur donde hay más disponibilidad del recurso.

**Título:** Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores

**Autores:** Fernando Flores Prior, Manuel Rodríguez Varela y Víctor Hugo Alcocer Yamanaka, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

**Año:** 2012

**Metodología:** Cuantitativa

**Periodo evaluado:** 2012

**Muestra:** Se evaluaron 120 organismos operadores de agua

**Análisis:** Se realizó el análisis de 28 Indicadores para cada uno de los 120 organismos operadores, es una evaluación anual realizada a los organismos desde 2005 donde se miden los avances en el aspecto operativo del sistema del agua, temas financieros y eficiencias.

**Resultados:** Se determinan las áreas de oportunidad para los organismos operadores de agua, encontrando que se requiere de la mejora en la calidad y cobertura del servicio, sustentabilidad económica, eliminación de fugas, los organismos operadores deben identificar las mejores prácticas que impacten positivamente en sus indicadores, se deben identificar los indicadores de desempeño relevantes para cada organismo de acuerdo a sus objetivos y metas.

Los organismos operadores requieren de mejor infraestructura, instrumental y medios para realizar una macromedición confiable, no se cuenta con registros claros sobre el estatus de los medidores y de cuantos medidores están instalados. Los resultados en el tema de las eficiencias muestran que en promedio de 2010 a 2011, la eficiencia física 1 aumento en 3.61%, la eficiencia física 2 aumentó 1.39%, la comercial aumentó 3.42% y la eficiencia de cobro disminuyó en 2.32%

### 1.7. Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua Potable

Este programa es implementado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el cual forma parte de la Subcoordinación Hidráulica Urbana. El Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua Potable (PIGOO) busca evaluar y comparar el desempeño de dichos organismos a través de un conjunto de indicadores. De acuerdo con el INEGI, existen 2,517 organismos operadores, de ellos 44 son de carácter privado y el resto públicos. En los Indicadores no se cuenta con información de todos ellos, el seguimiento sólo se ha podido dar a total de 387 organismos que son los que han proporcionado información al Instituto en diferentes momentos, ya que la participación no ha sido continua. Desde el año 2005, cuando se comenzó a dar seguimiento a distintos indicadores de desempeño la participación se mantuvo en incremento, sin embargo, el último año registra una disminución en el número de organismos participantes.

Año	Número de Organismos Participantes	Tasa de variación porcentual (%)
2005	50	
2006	75	50
2007	78	4
2008	83	6
2009	90	8
2010	104	16
2011	106	2
2012	120	13
2013	145	21
2014	161	11
2015	179	11
2016	189	6
2017	207	10
2018	199	-4
2019	146	-27

Tabla 2 Número de Organismos Participantes-Tasa de Variación Porcentual  
Fuente: Elaborada con datos del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Agua 2019.



Figura 3 Organismos participantes en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua PIGOO

Fuente: Elaborada con datos del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Agua 2019.

La evaluación realizada por este programa se basa en la información de 32 Indicadores de gestión en cuatro aspectos básicos: los aspectos operativos del sistema de agua potable, los aspectos financieros, las eficiencias y a partir del 2019 se incorporó el tema del uso de la energía eléctrica.

Para el cálculo de los 32<sup>7</sup> Indicadores de gestión se solicita información de 39 datos históricos del 2005-2018 a los organismos operadores de agua:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Número total de tomas registradas            | 7. Rehabilitación de tomas domiciliarias              |
| 2. Número de tomas del padrón activas           | 8. Horas con servicio tandeado                        |
| 3. Número de tomas con servicio continuo        | 9. Número de micromedidores                           |
| 4. Tamaño de la red de distribución total       | 10. Número de Captaciones                             |
| 5. Tamaño de la red de distribución actualizada | 11. Número de Macromedidores                          |
| 6. Rehabilitación de tubería                    | 12. Número de Fugas Ocurridas y reparadas             |
|   | 13. Número de empleados en el organismo operador      |
|   | 14. Número de empleados dedicados al control de fugas |

<sup>7</sup> Información del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Agua 2019.

15. Número de reclamaciones de usuarios	26. Ingreso por venta de agua
16. Número de usuarios con pago a tiempo	27. Tarifa media
17. Usuarios abastecidos con pipas	28. Ingresos totales
18. Cobertura de agua potable	29. Egresos totales
19. Cobertura de Alcantarillado	30. Costos de operación, mantenimiento y administración
20. Volumen anual de agua potable producido	31. Inversión total
21. Volumen de agua consumido	32. Población atendida
22. Volumen de agua facturado	33. Habitantes por casa
23. Volumen de agua cobrado	34. Calidad del agua
24. Volumen anual de agua residual tratado	35. Pruebas NOM-127
25. Dinero facturado por venta de agua	36. PIB
	37. Consumo energético total en el sistema
	38. Costo total de energía
	39. Inversiones en Infraestructur

Con información del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Agua (2019) se han identificado los 32 Indicadores evaluados a partir de la información son:

1. RI: Redes e Instalaciones (%)
2. ReTub: Rehabilitación de tubería (%)
3. ReTom: Rehabilitación de tomas domiciliarias (%)
4. T<sub>SC</sub>: Tomas con servicio continua (%)
5. MACRO: Macromedición (%)
6. MICRO: Micromedición (%)
7. V<sub>TRAT</sub>: Volumen tratado (%)
8. Dot: Dotación (l/h/d)
9. Consumo (l/h/d)
10. Tandeo: horas con servicio de agua en las zonas de tandeo (%)
11. PU: Padrón de usuarios (%)
12. U<sub>PAT</sub>: Usuarios con pago a tiempo
13. Pipas: Usuarios abastecidos con pipas (%)
14. RECLA: Reclamaciones (por cada mil tomas)
15. E<sub>MT</sub>: Empleados por cada mil tomas (Num)
16. E<sub>DF</sub>: Empleados dedicados al control de fugas (trabajadores/fugas)

17. Agua: Cobertura de Agua potable (%)
18. Agua: Cobertura de Alcantarillado (%)
19. PLR: Pérdidas por longitud de red (m<sup>3</sup>/km)
20. PPT: Pérdidas por toma (m<sup>3</sup>/toma)
21. CE: Consumo energético en sistemas de agua potable (kWh/m<sup>3</sup>)
22. CCE: Relación del costo total de energía por metro cúbico producido (\$kWh/m<sup>3</sup>)
23. C<sub>VPP</sub>: Costos entre volumen producido (\$/m<sup>3</sup>)
24. ReTa: Relación de trabajo (%)
25. Autosuf: Autosuficiencia (%)
26. INVPIB: Relación Inversión PIB (%)
27. RCT: Relación Costo-Tarifa
28. E<sub>RS1</sub>: Eficiencia física 1 (%)
29. E<sub>RS2</sub>: Eficiencia física 2 (%)
30. E<sub>COM</sub>: Eficiencia comercial (%)
31. E<sub>COB</sub>: Eficiencia de cobro (%)
32. Eglobal: Eficiencia global<sup>8</sup> (%)

### ***El cálculo de las Eficiencias***

1. Eficiencia Física 1. Evalúa la eficiencia entre lo consumido y lo producido y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{FIS1} = \frac{V_{CON}}{V_{APP}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

V<sub>CON</sub>: Volumen de agua consumido (m<sup>3</sup>)

V<sub>APP</sub>: Volumen anual de agua potable producido (m<sup>3</sup>)

---

<sup>8</sup> Con información del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Agua 2019.

2. Eficiencia Física 2. Evalúa la eficiencia entre lo facturado y lo producido y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{FIS2} = \frac{V_{AF}}{V_{APP}} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$V_{AF}$ : Volumen de agua facturado ( $m^3$ )

$V_{APP}$ : Volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ )

3. Eficiencia Comercial. Evalúa la eficiencia entre la facturación y el pago de la misma y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{COM} = \frac{V_{AP}}{V_{AF}} * 100 \quad (3)$$

Donde:

$V_{AP}$ : Volumen de agua pagado ( $m^3$ )

$V_{AF}$ : Volumen de agua facturado

4. Eficiencia de Cobro. Evalúa la eficiencia de cobro del agua y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{COB} = \frac{P_{VEN}}{P_{FAC}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

$P_{VEN}$ : Ingreso por venta de agua (\$)

$P_{FAC}$ : Dinero facturado por venta de agua (\$)

5. Eficiencia Global. Calcula la eficiencia global del sistema de agua potable mediante el siguiente algoritmo:

$$E_{global} = E_{FIS2} * E_{COM} \quad (5)$$

Donde:

$E_{FIS}$ : Eficiencia física 2

$E_{COM}$ : Eficiencia comercial

### Información disponible

De acuerdo con la información disponible en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua (PIGOO), en el periodo de 2012 a 2018, 387 organismos han participado en la evaluación de eficiencias:

- a. Eficiencia Física 1. Evalúa el grado de competencia que se tiene en la entrega del agua en la red. La confiabilidad de este indicador recae en las buenas prácticas de medición de volúmenes, y lleva implícitas las pérdidas aparentes y reales en el porcentaje que se requiere para llegar al 100% definidas como Agua No Rentable por la IWA (CONAGUA, 2016, p.86).

$E_{FIS1} = \frac{V_{CON}}{V_{APP}} * 100$	
<b>Descripción</b>	
EFICIENCIA FÍSICA 1=	
$V_{CON}$ : Vol. de agua consumido (m <sup>3</sup> )	Evalúa la eficiencia entre lo consumido y lo producido
$TMD$ : Vol. anual de agua potable producido(m <sup>3</sup> )	

Tabla 3 Eficiencia Física 1

Fuente: Tomado de CONAGUA (2016). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. p.86

- b. Eficiencia Física 2. Evalúa la eficiencia entre lo facturado y lo producido. La confiabilidad de este indicador recae en las buenas prácticas que se tenga en cuanto a la macro y micro medición y en la vinculación de estas mediciones con los procesos comerciales de facturación (CONAGUA, 2016, p.87).

$E_{FIS2} = \frac{V_{AF}}{V_{APP}} * 100$	
<b>Descripción</b>	
EFICIENCIA FÍSICA 2=	
$V_{AF}$ : Vol. de agua facturado (m <sup>3</sup> )	Evalúa la eficiencia entre lo facturado y lo producido
$V_{APP}$ : Vol. anual de agua potable producido(m <sup>3</sup> )	

Tabla 4 Eficiencia Física 2

Fuente: Tomado de CONAGUA (2016). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. p.88

- c. Eficiencia Comercial. Evalúa la eficiencia entre la facturación y el pago de la misma (CONAGUA, 2016, p. 89).

$E_{COM} = \frac{V_{AP}}{V_{AF}} * 100$	
<b>Descripción</b>	
EFICIENCIA COMERCIAL=	
$V_{AF}$ : Vol. de agua facturado (m <sup>3</sup> )	Evalúa la eficiencia entre la facturación y el pago de la misma.
$V_{AP}$ : Vol. de agua pagado (m <sup>3</sup> )	

Tabla 5 Eficiencia Comercial

Fuente: Tomado de CONAGUA (2016). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. p.90

- d. Eficiencia de Cobro. Relaciona la competencia que tiene el organismo operador para cobrar el agua fracturada (CONAGUA, 2016, p. 91).

$E_{COB} = \frac{P_{VEN}}{P_{FAC}} * 100$	
<b>Descripción</b>	
EFICIENCIA DE COBRO= V <sub>VEN</sub> : Ingreso por venta de agua (\$) P <sub>FAC</sub> : Dinero facturado por venta de agua (\$)	Evalúa la eficiencia de cobro del agua.

Tabla 6 Eficiencia de Cobro

Fuente: Tomado de CONAGUA (2016). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. p.92

- e. Eficiencia Global. Combina los indicadores de Eficiencia Física 2 y Eficiencia Comercial, ofreciendo un panorama de la competencia física y comercial del Organismo Operador Evaluado (CONAGUA, 2016, p. 93).

$E_{global} = E_{FIS2} * E_{COM}$	
<b>Descripción</b>	
EFICIENCIA GLOBAL (%)= E <sub>FIS2</sub> : Eficiencia física 2 (%) P <sub>COM</sub> : Eficiencia comercial (%)	Se calcula la eficiencia global del sistema de agua potable existente.

Tabla 7 Eficiencia Global

Fuente: Tomado de CONAGUA (2016). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. p.94

Hasta 2018, la información disponible es:

Número de Organismos Operadores de Agua participantes en el Programa de Indicadores de Gestión (PIGOO) en el periodo de 2012-2018:

Entidad Federativa	Número de Organismos Operadores Participantes	Entidad Federativa	Número de Organismos Operadores Participantes
Aguascalientes	4	Morelos	11
Baja California	4	Nayarit	11
Baja California Sur	4	Nuevo León	1
Campeche	2	Oaxaca	3
Chiapas	5	Puebla	9
Chihuahua	49	Querétaro	2
Coahuila	10	Quintana Roo	9
Colima	2	San Luis Potosí	16
Ciudad de México	1	Sinaloa	8
Durango	3	Sonora	65
Guanajuato	46	Tabasco	2
Guerrero	5	Tamaulipas	9
Hidalgo	6	Tlaxcala	4
Jalisco	10	Veracruz	14
Estado de México	19	Yucatán	3
Michoacán	15	Zacatecas	35

Tabla 8 Número de Organismos Operadores Participantes por Entidad Federativa

Fuente: Elaboración propia con información del PIGO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2012	114	Física 1
	182	Física 2
	172	Comercial
	178	Cobro
	173	Global

Tabla 9 Organismos Operadores Participantes en 2012 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2013	130	Física 1
	175	Física 2
	173	Comercial
	178	Cobro
	172	Global

Tabla 10 Organismos Operadores Participantes en 2013 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2014	126	Física 1
	178	Física 2
	176	Comercial
	187	Cobro
	172	Global

Tabla 11 Organismos Operadores Participantes en 2014 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2015	118	Física 1
	211	Física 2
	201	Comercial
	213	Cobro
	211	Global

Tabla 12 Organismos Operadores Participantes en 2015 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2016	111	Física 1
	268	Física 2
	194	Comercial
	206	Cobro
	218	Global

Tabla 13 Organismos Operadores Participantes en 2016 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2017	66	Física 1
	220	Física 2
	167	Comercial
	165	Cobro
	166	Global

Tabla 14 Organismos Operadores Participantes en 2017 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

<b>Año</b>	<b>Número de Organismos Operadores con Información</b>	<b>Tipo de eficiencia</b>
2018	58	Física 1
	126	Física 2
	105	Comercial
	114	Cobro
	107	Global

Tabla 15 Organismos Operadores Participantes en 2018 por tipo de eficiencia  
Fuente: Elaboración propia con información del PIGOO

## Conclusiones

En este capítulo se han descrito los elementos metodológicos y el marco conceptual de la investigación y se ha descrito el concepto y el modelo de eficiencia aplicable a los Organismos Operadores de Agua en México. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), organismo público federal con carácter técnico para el seguimiento y monitoreo de los Organismos Operadores es quien genera dicho modelo.

En la evaluación de la eficiencia de los Organismos Operadores ha prevalecido el enfoque económico con indicadores de costo-beneficio en la prestación del servicio público, sin embargo, también se han incluido indicadores de carácter técnico e institucional de forma que la calidad del agua y la prestación del servicio son relevantes en el desempeño y gestión del recurso.

Para CONAGUA la eficiencia del sistema de agua potable es la “capacidad de captar, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua, desde la fuente natural hasta los consumidores con un servicio de calidad total” (CONAGUA, 2012, 10), y su modelo incluye la eficiencia en tres escenarios:

- a. La ingeniería del sistema de abastecimiento
- b. La comercialización de los servicios de agua potable
- c. El desarrollo institucional del organismo operador

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) cuenta con el Programa de Indicadores de Gestión (PIGOO) donde se registra el resultado de 39 datos históricos a partir de los cuales se construyen 32 indicadores de gestión, entre ellos, las 5 eficiencias. Esta información es la base para la construcción del Índice de Eficiencia General y el modelo de regresión propuestos para la investigación.

El interés por contribuir a la mejora en la prestación del servicio público del agua ha llevado a la realización de investigaciones donde predomina el enfoque cuantitativo y donde se aplica el modelo de análisis de datos secundarios e información provista por instancias oficiales, los resultados que se presentan en este Capítulo muestran un desempeño eficiente en los Organismos Operadores ubicados en regiones de México donde escasea el agua, mientras que los Organismos ubicados en zonas con mayor disponibilidad del recurso presentan un desempeño menos eficiente.

## **Capítulo 2. La gestión del agua y la prestación del servicio público del agua en México**

## **Capítulo 2 La gestión del agua y la prestación del servicio público del agua en México**

### **2.1. Gestión de servicios públicos municipales<sup>9</sup>**

Uno de los elementos básicos en la mejora de la calidad de vida urbana es el acceso adecuado a los servicios públicos, estos servicios representan un derecho de la comunidad y cuando el mercado no garantiza el acceso y mantenimiento de los servicios para toda la población local entonces es necesario diseñar procedimientos que eviten la exclusión. La exclusión puede ser de tipo territorial, institucional o económica.

#### **2.1.1 Enfoques y tendencias**

El Estado era quien, tradicionalmente, realizaba la gestión de los servicios públicos, sin embargo, la insuficiencia financiera para poder seguir haciéndolo de manera plena, ha llevado a que desde finales del siglo XX esta modalidad se modifique y exista la posibilidad de participación por parte del sector privado. Los cambios en la gestión de los servicios públicos han llevado a la descentralización y privatización haciendo este proceso más global, integral e internacional centrándose en la búsqueda del equilibrio financiero y la privatización de los servicios y buscando garantizar la eficiencia económica y transparencia en la gestión de las empresas que proporcionan los servicios.

Los servicios urbanos son de tal importancia que han sido empleados por los gobiernos como un “instrumento estratégico para la construcción física de la ciudad, pero también para su construcción social, asignándole objetivos diferentes: la modernización del espacio, la integración social de los habitantes de bajos recursos, la búsqueda del consenso político...” (Jordán y Simioni, 2003, p.22). Ha existido un cambio en la perspectiva desde la cual los servicios eran instrumentos de una política de redistribución de los recursos y de fortalecimiento del proceso de social y ciudadano, ahora, los servicios son elementos de modernización y de nueva eficiencia llevando a cambios sobre cómo deben funcionar y como instrumentos políticos, culturales e institucionales. (Jordán y Simioni, 2003)

---

<sup>9</sup> Con información de Jordán y Simioni (Coords.) (2003). Aspectos teóricos y de desarrollo. Fichas de instrumentos de gestión urbana municipal. En Jordán y Simioni (Coords) (2003). *Guía de Gestión Urbana*. Capítulo 2 y Capítulo 3. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile. Noviembre de 2003. Pp 21-64

En esta nueva perspectiva los servicios son el resultado de la interacción entre diferentes actores con distintos intereses, necesidades, recursos y capacidades, la manera en que cada uno participa depende de la orientación que predomine en la acción de cada uno de ellos. La gestión de los servicios incluye diversas fases que se relacionan con estos actores:

- \*La política del servicio que debe ser pública
- \*La planificación del servicio que puede ser pública o privada
- \*La inversión también puede ser pública o privada
- \*La producción que comprende los procedimientos de combinación de insumos.
- \*El control que debe ser público y garantizar el cumplimiento de las decisiones públicas. (Jordán y Simioni, 2003)

Existen tres modalidades para la gestión de los servicios:

- a. Gestión estatal no participativa. En esta modalidad las instancias públicas se encargan de todas las fases y la participación privada se muestra en el control a manera de protestas y las empresas suelen participar en inversiones a través de instituciones bancarias.
- b. Gestión privada no participativa. Los organismos públicos establecen las bases de la política, intervienen en la inversión y en el control. Las empresas participan en todo menos en el control y la planificación queda subordinada a las empresas quienes también pueden tomar decisiones propias de la política del servicio.
- c. Gestión mixta participativa. Los organismos públicos intervienen en todas las fases que sean públicas incluyendo la inversión, pero no en la producción. Las empresas privadas se encargan de la producción. Las familias participan en todas las etapas públicas y no en la producción (Jordán y Simioni, 2003).

### **2.1.2 Aspectos normativos e institucionales**

Cada una de las modalidades de gestión requiere de una regulación específica por lo que se deben normar distintos aspectos en la gestión de los servicios públicos:

- \*En la política del servicio, se debe privilegiar la defensa de las condiciones económicas y sociales de los actores más débiles, impulsar los procesos de innovación técnica y económica y promoviendo la eficiencia que haga más accesible del servicio.

\*Deben dejar claro las condiciones de inclusión para evitar la exclusión territorial, institucional o económica.

\*Identificar las organizaciones adecuadas para la realización de cada una de las etapas en el proceso de gestión del servicio.

\*Personal capacitado, buscando contar con recursos humanos que cuenten con la formación técnica adecuada.

\*Financiamiento, buscar distintas fuentes de recursos acordes al destino de los mismos (Jordán y Simioni, 2003).

### **2.1.3 Estrategias**

Los gobiernos locales deben asegurar la provisión a toda la población de los servicios mínimos y a la implantación de las capacidades y los instrumentos que permitan su aplicación. Por tanto, los gobiernos locales deben:

\*Asegurar la prestación universal de los niveles mínimos socialmente aceptados de servicios

\*Identificar los mecanismos de subsidios con el fin de garantizar el suministro universal

\*Promover la producción y gestión eficiente de los servicios introduciendo instrumentos que promuevan la competencia.

\*Establecer mecanismos de regulación y de control con el fin de verificar que los servicios sean proporcionados de acuerdo con el marco regulador establecido.

\*Crear instancias participativas para la toma de decisiones y para el control en la aplicación (Jordán y Simioni, 2003, p. 28).

Un mecanismo para lograr estos objetivos es permitir la participación privada para mejorar la eficiencia, introducir innovaciones en la producción y mejorar la relación precio-calidad, separar las actividades de prestación de servicios y las actividades de regulación transparente los mecanismos de asignación de recursos.

## **2.2. Bases normativas e institucionales de la política pública de abasto de agua en México.**

La reforma en 2012 al artículo cuarto, párrafo sexto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, a través de la cual se estableció que:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines (CPEUM, 2021, p.10).

Y además, la reforma de los artículos 73, 115 y 122 constitucionales estableciendo que es obligación de la federación, los estados y los municipios el otorgar los servicios públicos del agua, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales ha acentuado el interés por conocer los elementos vigentes y aquellos que pueden ser necesarios para conformar una política pública que permita dar cumplimiento a estas modificaciones normativas y garantice el acceso al agua de forma eficiente para la población de nuestro país.

De acuerdo con la Auditoría Superior de la Federación (2019), la política pública de agua potable conformada a partir del marco normativo, regulatorio y programático vigente contempla tres ejes base:

1. La rectoría de la política
2. La gestión de los servicios de agua potable y saneamiento
3. La protección y restauración de los recursos hídricos

### **2.2.1 La rectoría de la política**

Este eje contempla los componentes de planeación, regulación, supervisión, coordinación, financiamiento, evaluación, rendición de cuentas y el funcionamiento de los organismos operadores de agua.

### **2.2.2 La gestión de los servicios de agua potable y saneamiento**

Se conforma de los procesos de producción (captación, potabilización y almacenamiento), distribución, consumo, alcantarillado, saneamiento, reutilización y retorno.

Los organismos públicos encargados de la implementación de esta política pública son:

- a. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) quien es la responsable de proponer la política hídrica del país.
- b. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que es el órgano superior de carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación para la gestión integrada de los recursos hídricos.
- c. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), instancia encargada de investigar, desarrollar, adaptar y transferir tecnología, además de prestar servicios tecnológicos para el manejo, conservación y rehabilitación del agua y su entorno.
- d. La procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), instancia que promueve acciones para reparar y compensar el daño ambiental a los ecosistemas asociados con el agua.
- e. La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) que regula los mecanismos para satisfacer las necesidades de tierra y disponibilidad de agua para los desarrollos urbanos y de vivienda.
- f. La Comisión Federal para la Protección de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) que monitorea la calidad del agua para el consumo humano en las tomas domiciliarias.
- g. Los estados y municipios que son los responsables de otorgar los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.
- h. Los organismos operadores, que son los responsables de administrar y operar los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

La gestión jurídica del agua en México tiene como fundamento lo que dictan tres artículos de la Constitución Política (4°, 27 y 115) y la Ley de Aguas Nacionales.

El artículo 4° reconoce que toda persona tiene derecho al acceso, la disposición y el saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado debe garantizar este derecho de forma equitativa y sustentable, y establecer la participación de la Federación, los estados y la ciudadanía para conseguirlo.

El artículo 27 señala que las aguas son propiedad de la Nación y sienta las bases para que el Estado regule su aprovechamiento sostenible, con la participación de la

ciudadanía y de los tres niveles de gobierno. Especifica que la explotación, el uso o aprovechamiento de los recursos se realizará mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo, con base en las leyes.

El artículo 115, por su parte, especifica que los municipios tienen a su cargo los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales

### **2.2.2.1 Legislación Secundaria**

Existe también legislación secundaria como la Ley de Aguas Nacionales (LAN) que es el ordenamiento reglamentario del artículo 27 constitucional; regula la distribución y control del agua, y designa a la Comisión Nacional del Agua CONAGUA como el órgano responsable de ejercer la autoridad y administración del agua a nombre del Ejecutivo.

La LAN se promulgó en 1992 y su última reforma fue publicada en el Diario Oficial de la Federación en marzo del 2016. Otras leyes secundarias se relacionan también con el tema de agua, como la de cambio climático, la de desarrollo forestal sustentable, la ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente, la ley minera y otras.

La Ley Federal de Derechos, por su parte, clasifica las zonas de disponibilidad de agua y determina las tarifas por uso, así como el cobro por descarga de aguas residuales con base en su calidad y la de los cuerpos de agua receptores.

A partir de que se incorporó el derecho humano al agua en el artículo 4º constitucional, está pendiente la discusión de la Ley General de Aguas que lo normará.

Se ha identificado qué en la normatividad existente, prevalecen problemas como los siguientes:

- Los hábitos y prácticas en el uso del agua, que son elementos que fomentan el desperdicio.
- La insuficiente capacidad de los municipios para satisfacer en cantidad y calidad los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.
- La falta de coordinación interinstitucional y de claridad en la competencia de la federación, los estados y los municipios.
- El rezago de tarifas y los subsidios que fomentan el desperdicio.
- Las malas condiciones de la infraestructura.

- Una gestión centralizada que impide una visión integral de cuenca en la que se fomente la participación ciudadana.
- La concesión de volúmenes superiores a la disponibilidad y las extracciones ilegales, sin sanciones.
- Los trasvases de una cuenca a otra con serias consecuencias ambientales y alto consumo energético.
- La contaminación de los cuerpos de agua por descargas legales, ilegales o no tratadas.

El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, en su última modificación del 24 de mayo de 2011, precisa las acciones para la ejecución y aplicación de la Ley de Aguas Nacionales, entre otros temas, en su Título Cuarto precisa los Derechos de uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales, describiendo como deben operar las concesiones y las asignaciones de las aguas nacionales y en su Título Sexto que comprende del artículo 81 al 86 se precisan los Usos del Agua entre ellos el uso público urbano.

### **2.2.2.2 Normas Oficiales Mexicanas<sup>10</sup>**

Un componente normativo para la regulación de aspectos más específicos en materia del agua son las Normas Oficiales, de acuerdo con la Secretaría de Economía y la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, en México existen tres tipos de Normas.

- a. **NOM (NORMAS OFICIALES MEXICANAS):** Son regulaciones técnicas de carácter obligatorio. Regulan los productos, procesos o servicios, cuando estos puedan constituir un riesgo para las personas, animales y vegetales, así como para el medio ambiente en general. Dentro de las NOM encontramos la información, requisitos, procedimientos, especificaciones y metodología necesarios que permiten establecer a las distintas dependencias gubernamentales ciertos parámetros evaluables a fin de evitar un riesgo para la población. (Secretaría de Economía, 2012)

---

<sup>10</sup> Con base en el Art. 2 del Reglamento Interior de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría de Economía, a través de la Dirección General de Normas, es responsable de operar el Catálogo Mexicano de Normas. El Catálogo Mexicano de Normas es revisado y actualizado permanentemente conforme a las publicaciones relativas a las NOM y NMX que se notifican a través del Diario Oficial de la Federación, como son: Declaración de Vigencia, Proyectos de Normas, Cancelaciones, modificaciones y respuestas a comentarios. (Secretaría de Economía, 2012 consultado en <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/comunidad-negocios/normalizacion/catalogo-mexicano-de-normas>)

- b. NORMAS MEXICANAS (NMX): Son elaboradas por un organismo nacional de normalización, o por algún otro organismo como alguna secretaria de estado. Establecen los requisitos mínimos de calidad de los productos y servicios, con el objetivo de orientar a los consumidores. Su aplicación es voluntaria, con excepción de los casos en que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conformes con las mismas. (Secretaría de Economía, 2012)
  
- c. NORMAS DE REFERENCIA (NRF): Estas son elaboradas por entidades de la administración pública federal (PEMEX, CFE), en aquellos casos en los que las normas mexicanas vigentes no cumplan sus requerimientos, o bien, las especificaciones que contienen no sean obsoletas. (Secretaría de Economía, 2012)

En materia de agua, las NOM son las normas obligatorias en el tema del agua potable, los organismos públicos operadores de este recurso en México deben cumplir con la siguientes Normas:

- NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Esta norma es la más importante y de mayor uso en todos los organismos operadores del país. Regula los límites permisibles de calidad física y organoléptica, química, y bacteriológica en el agua potable. Es de suma importancia que nuestros datos estén dentro de norma.

La salud pública está en juego y cumplir con la regulación de esta norma de manera obligada debe ser un trabajo de gestión alta dentro del organismo. De la misma manera, nos permite determinar el tipo de tratamiento que necesita el agua a partir de la calidad del agua a potabilizar. (Secretaría de Economía, 2012)

- NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. (Secretaría de Economía, 2012)
  
- NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento

públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. (Secretaría de Economía, 2012)

- NOM-012-SSA1-1993. Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.
- NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. (Secretaría de Economía, 2012)

## **2.3. La gestión de los recursos hídricos y del agua en México**

### **2.3.1. Los recursos hídricos**

Los recursos hídricos en México se gestionan a través de las regiones hidrológicas. Cada región hidrológica es un área territorial conformada por ciertas características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en estas regiones se definen las cuencas hidrológicas que son:

Unidades territoriales delimitadas por un parte aguas o divisoria de las aguas, en donde ocurre el agua en distintas formas, y esta se almacena o fluye hasta una salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con estos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituyen la unidad de gestión de los recursos hídricos (ASF, 2019, p. 17).

Por tanto, cada cuenca hidrológica se integra por uno o varios acuíferos. Nuestro país se divide en trece Regiones Hidrológico Administrativas:



Figura 4 Regiones Hidrológicas Administrativas en México  
 Fuente: Tomado de ASF. 2019. Evaluación Número 1585-DE. Política Pública de Agua Potable. p. 18

La CONAGUA ejerce sus atribuciones y desempeña sus funciones a través de trece organismos, cada uno a cargo de una región hidrológica administrativa, estos organismos representan legalmente a la CONAGUA en las cuencas y emiten actos de autoridad y expiden títulos de concesión, asignación y permisos.

### 2.3.1.1 Los Acuíferos

En nuestro país existen 653 acuíferos para la administración de aguas subterráneas y 757 cuencas para la administración de aguas superficiales. A través del Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) la CONAGUA lleva el control de los volúmenes de agua concesionados. Hasta 2016 el 76.3% del agua estaba concesionada para el uso agrícola, 14.6% para el abastecimiento público, 4.8% para energía eléctrica y el 4.3% para la industria autoestablecida (ASF, 2019).

La gran variedad de climas con la que cuenta nuestro país hace que la disponibilidad de recursos hídricos sea diversa, la zona noroeste y centro del país es árida y semiárida con precipitaciones anuales menores a los 500 milímetros, la zona sureste es húmeda con precipitaciones anuales superiores a los 2,000 milímetros, esto determina la gestión del agua ya que en el centro, norte y noreste se requiere de una mayor eficiencia en el

uso, conservación y reúso del recurso, y en el sur la abundancia de agua lleva a prevenir inundaciones y hacer un uso adecuado de la misma en la agricultura.

### **2.3.2. La gestión del agua en México**

La gestión incluye cada una de las fases del ciclo urbano del agua. El ciclo urbano abarca desde la captación hasta que es devuelta después de su uso, esto ocurre en nueve fases.

- Captación
- Potabilización
- Almacenamiento
- Distribución
- Consumo
- Alcantarillado
- Depuración
- Reutilización
- Retorno

#### **a. Captación**

Es la fase donde se recargan las fuentes de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas a través de la lluvia. La precipitación media anual es de 760 milímetros que equivalen a 1,489 km<sup>3</sup> por año, de ellos, 331 km<sup>3</sup> (22.2%) escurre a través de los ríos, 1,065 km<sup>3</sup> (71.6%) se evapotranspira y 93 km<sup>3</sup> (6.2%) recargan los acuíferos. La gestión del agua captada en cuencas y acuíferos corresponde al Ejecutivo Federal a través de la CONAGUA. (ASF, 2019)

#### **b. Potabilización**

Es el proceso a través del cual el agua que no es apta para el uso y consumo humano se transforma en agua utilizable o consumible. Se realiza en plantas potabilizadoras donde se somete a tratamientos físicos, químicos y microbiológicos. A partir de esta etapa la ejecución de la política pública está a cargo de los organismos operadores de agua en las entidades federativas y los municipios, mediante las obligaciones y concesiones otorgadas por CONAGUA. (ASF, 2019)

c. Almacenamiento

Después de ser potabilizada el agua se traslada a los lugares de suministro, depósitos a partir de los cuales se trasladará a las zonas urbanas o rurales. Los depósitos se ubican en lugares altos para facilitar la distribución y el ahorro de energía. Los lugares de depósito son los bordos y presas que en México tienen una capacidad de 150 mil hm<sup>3</sup>. (ASF, 2019)

d. Distribución.

Es el abasto del agua mediante tuberías. Hasta 2017 se registraban más de 3,000 km de acueductos para la distribución del agua hacia ciudades y zonas rurales con capacidad para 112 m<sup>3</sup>/s. (ASF, 2019)

e. Consumo

Se refiere a los volúmenes de agua utilizados para cubrir las necesidades de los usuarios. El uso del agua depende de factores como el clima de la región, el nivel socioeconómico, las costumbres, etc. (ASF, 2019)

f. Alcantarillado y Saneamiento

Es etapa de recolección del agua residual y de lluvia que se somete a un proceso de depuración de contaminantes. En el caso del Alcantarillado es la recolección del agua utilizada a través de la red de tuberías que la trasladan a estaciones depuradoras. El agua es también sometida a una Depuración donde se eliminan las impurezas a través de un proceso de saneamiento. (ASF, 2019)

g. Reutilización y retorno

La Reutilización previene la contaminación de los cuerpos de agua y permite disminuir el volumen de las aguas de primer uso y contrarrestar la sobreexplotación en cuencas y acuíferos reduciendo la presión sobre ellos. El agua depurada que no es aprovechada es retornada al medio natural, río o mar mediante conducciones especiales. (ASF, 2019)

#### **2.4. Modalidades de administración de los servicios de agua**

De acuerdo con la evaluación realizada por la Auditoría Superior de la Federación (2019), existen cuatro modalidades para la administración de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento:

#### **2.4.1 Organismos operadores municipales**

Los ayuntamientos tienen la atribución de prestar el servicio público de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales en zonas urbanas y rurales dentro de su territorio. La recomendación para zonas urbanas es crear organismos públicos descentralizados de la administración municipal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, con funciones administrativas. (ASF, 2019, p.38)

#### **2.4.2 Organismos operadores intermunicipales**

Para la prestación de los servicios públicos en localidades de municipios limítrofes y conurbados que pueden compartir infraestructura hidráulica se crean convenios entre dos o más municipios y organismos operadores intermunicipales encargado de la gestión en la totalidad del territorio de dichos municipios. (ASF, 2019, p.38)

#### **2.4.3 Organismos operadores estatales**

En cada entidad federativa existe un organismo público descentralizado del gobierno del estado que funge como ente rector para la administración del agua. Sus atribuciones varían en cada estado, pero de forma general tienen los siguientes objetivos:

- a. Fijar los objetivos, políticas, estrategias, programas y normas que conllevan al óptimo aprovechamiento del agua en su estado, que garantice su sustentabilidad.
- b. Formular y proponer al poder ejecutivo el Programa Estatal Hídrico.
- c. Orientar las leyes correspondientes y con base en la disponibilidad del agua, las acciones que atiendan: la demanda del recurso, las descargas, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales, la recarga de acuíferos, el control de avenidas y la prevención de inundaciones.
- d. Establecer la coordinación con las autoridades federales y municipales, para participar en la planeación, programación, diseño, construcción, control y evaluación de obras en cada estado y en los municipios.
- e. Promover, coordinar, concertar y realizar la investigación y desarrollo tecnológico en materia de agua, y la formación y capacitación de recursos humanos.
- f. Promover una cultura del agua que fomente el reconocimiento de este recurso como finito, vital y escaso. (ASF, 2019, p.38)

#### **2.4.4 Organismos privados como concesionarios**

Con el propósito de impulsar la eficiencia física y comercial y para facilitar el acceso a la tecnología de punta y nuevas fuentes de financiamiento, se ha promovido, a través de las leyes, la participación de los sectores privado y social en las funciones de: prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, ejecución de estudios, proyectos y construcción de infraestructura hidráulica relacionada con los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento, administración, operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica y la ejecución de actividades que propicien la capitalización, la ampliación y la mejoría de los servicios públicos. (ASF, 2019, p.38)

#### **2.5. Funcionamiento de los organismos operadores**

Los organismos operadores de agua están facultados para proveer los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales con base en lo establecido en los artículos 115, fracción III de la Constitución Política de nuestro país y en los artículos 20 y 44 de la Ley de Aguas Nacionales.

Artículo 115, Fracción III. Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

- a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales;
- b) Alumbrado público.
- c) Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos;
- d) Mercados y centrales de abasto.
- e) Panteones.
- f) Rastro.
- g) Calles, parques y jardines y su equipamiento;
- h) Seguridad pública, en los términos del artículo 21 de esta Constitución, policía preventiva municipal y tránsito;
- i) Los demás que las Legislaturas locales determinen según las condiciones territoriales y socio-económicas de los Municipios, así como su capacidad administrativa y financiera.

Sin perjuicio de su competencia constitucional, en el desempeño de las funciones o la prestación de los servicios a su cargo, los municipios observarán lo dispuesto por las leyes federales y estatales.

Los Municipios, previo acuerdo entre sus ayuntamientos, podrán coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos o el mejor ejercicio de las funciones que les correspondan. En este caso, y tratándose de la asociación de municipios de dos o más Estados, deberán contar con la aprobación de las legislaturas respectivas de los Estados. Así mismo cuando a juicio del ayuntamiento respectivo sea necesario, podrán celebrar convenios con el Estado para que éste, de manera directa o a través del organismo correspondiente, se haga cargo en forma temporal de algunos de ellos, o bien se presten o ejerzan coordinadamente por el Estado y el propio municipio;

Las comunidades indígenas, dentro del ámbito municipal, podrán coordinarse y asociarse en los términos y para los efectos que prevenga la ley. (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2021, p.118)

Artículo 20, párrafo primero y párrafo cuarto de la Ley de Aguas Nacionales:

De conformidad con el carácter público del recurso hídrico, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realizará mediante concesión o asignación otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "la Comisión" por medio de los Organismos de Cuenca, o directamente por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que dispone la presente Ley y sus reglamentos. Las concesiones y asignaciones se otorgarán después de considerar a las partes involucradas, y el costo económico y ambiental de las obras proyectadas. [...] (Ley de Aguas Nacionales, 2020, p. 40)

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales por dependencias y organismos descentralizados de la administración pública federal, estatal o municipal, o el Distrito Federal y sus organismos descentralizados se realizará mediante concesión otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "la Comisión" por medio de los Organismos

de Cuenca, o por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que establece esta Ley y sus reglamentos.

Cuando se trate de la prestación de los servicios de agua con carácter público urbano o doméstico, incluidos los procesos que estos servicios conllevan, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, se realizará mediante asignación otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "la Comisión" por medio de los Organismos de Cuenca, o por ésta cuando así le competa, a los municipios, a los estados o al Distrito Federal, en correspondencia con la Fracción VIII del Artículo 3 de la presente Ley. Los derechos amparados en las asignaciones no podrán ser objeto de transmisión (Ley de Aguas Nacionales, 2020, p. 41).

Artículo 44, párrafo primero y párrafo segundo de la Ley de Aguas Nacionales:

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo por parte de los sistemas del Distrito Federal, estatales o municipales de agua potable y alcantarillado, se efectuarán mediante asignación que otorgue "la Autoridad del Agua", en los términos dispuestos por el Título Cuarto de esta Ley.

Las asignaciones de aguas nacionales a centros de población que se hubieran otorgado a los ayuntamientos, a los estados, o al Distrito Federal, que administren los respectivos sistemas de agua potable y alcantarillado, subsistirán aun cuando estos sistemas sean administrados por entidades paraestatales o paramunicipales, o se concesionen a particulares por la autoridad competente (Ley de Aguas Nacionales, 2020, p. 61).

Por tanto, los municipios pueden nombrar organismos operadores para brindar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, y saneamiento, dichos organismos suelen operar bajo la figura de sistemas descentralizados, juntas locales, departamentos y comités de usuarios o bien como empresas concesionarias privadas.

De acuerdo con el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua existen 2,517 organismos operadores en México, cada uno de ellos con distintas atribuciones acorde a sus leyes estatales, sin embargo, la Auditoría Superior de la Federación (2019) precisa que tienen algunas en común:

\*Proporcionar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a los centros de población y asentamientos de las zonas urbanas y rurales que le corresponda.

\*Operar, conservar y ampliar obras, instalaciones, redes, equipos y demás bienes destinados a la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

\*Planear y programar obras futuras, que sean necesarias para ampliar y mejorar la prestación de los servicios, con el fin de poder atender nuevas demandas de la población.

\*Recaudar y administrar los ingresos por concepto de pago de servicios de agua, drenaje, alcantarillado, saneamiento, tratamiento de aguas residuales y disposición final de lodos.

\*Obtener los permisos y autorizaciones para la prestación de los servicios, así como coordinarse con las dependencias y entidades que se relacionen con su objetivo.

\*Realizar, en coordinación con las dependencias y entidades estatales y federales, las acciones necesarias para el control y prevención de la contaminación de aguas y la reutilización de las aguas residuales tratadas, así como para prevenir y corregir el impacto ambiental negativo.

\*Realizar campañas de divulgación para promover la cultura del agua, a fin de que los usuarios conozcan las medidas que deberán adoptar para evitar efectos nocivos al medio ambiente (Auditoría Superior de la Federación (2019), 2019, p. 204).

## **2.6. La regulación de los organismos operadores de agua**

El sistema regulatorio refiere a la combinación de instituciones, marco legal y procesos de control gubernamental sobre las decisiones operativas y de inversión en los prestadores de servicios (Camacho y Casados, 2017, p. 62). Por tanto, un sistema adecuado en la prestación del servicio público del agua debe contemplar a todos los actores involucrados proporcionando un equilibrio al sistema. Camacho y Casados (2017), en su investigación para el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), precisan que los organismos operadores de agua requieren de un sistema regulatorio

integral que contemple todos los sectores involucrados, entre ellos: salud, medio ambiente, economía, turismo, etc. con el propósito de mejorar el desempeño de los organismos y la calidad de los servicios que prestan.

### **2.6.1 Tipos de regulación**

Los Organismos Operadores de Agua son regulados por las autoridades gubernamentales a través de los siguientes modelos:

#### **2.6.1.1 Autorregulación**

En este modelo, el gobierno regula aquellas áreas donde existen fallos de mercado o bien donde existen metas que se buscan alcanzar, el mecanismo comúnmente empleado es a través de una agencia de ámbito nacional o local y quien se encarga de establecer, supervisar y fortalecer los niveles tarifarios y los estándares a cumplir en el servicio. La participación del gobierno es activa ya que interviene en la política de precios e influye en la definición de los niveles tarifarios de forma arbitraria.

En este esquema los organismos operadores suelen mantener precios bajos ya que se apegan a políticas sociales gubernamentales, además, el gobierno es juez y parte ya que establece las reglas de provisión de servicios públicos y al mismo tiempo evalúa el desempeño. En México es la figura que más prevalece en los organismos operadores de agua. (Camacho y Casados, 2017)

#### **2.6.1.2 Regulación Independiente**

Este modelo se caracteriza por fomentar la participación ciudadana en la toma de decisiones, se aplica en países desarrollados donde la fortaleza de las instituciones gubernamentales y los mecanismos de participación social lo facilitan, la característica principal de este modelo es que contiene al menos tres dimensiones:

- Independencia en la toma de decisiones. Ya que en la ley existe claridad para tomar decisiones regulatorias sin la aprobación previa del gobierno central u otra entidad de jerarquía superior.
- Independencia institucional y de gestión. La instancia reguladora está fuera del sector gubernamental, tiene control sobre la administración interna y se encuentra aislado de los procesos políticos para evitar la destitución.

- Independencia financiera. El organismos regulador tiene seguridad en la asignación de recursos económicos para el cumplimiento de sus funciones. (Camacho y Casados, 2017)

Este tipo de modelo será más efectivo en la medida en que se otorgue autonomía a la instancia reguladora, se cuenta con un sistema de gobernanza efectivo con claridad de roles, objetivos, confiabilidad, transparencia, proporcionalidad en la estructura regulatoria y estabilidad del entorno regulado. El modelo requiere un alto grado de competencia institucional y compromiso político (Camacho y Casados, 2017).

### **2.6.1.3 Regulación por contrato o concesión**

Este modelo es con la participación del sector privado y se emplean en la búsqueda de la mejora en el desempeño de los prestadores de servicios de propiedad pública. Existen tres variantes en este modelo:

1. Cuando las cláusulas clave son administradas por las partes en el contrato, es decir no existe un regulador y, por tanto, los participantes son juez y parte, son responsables del cumplimiento de obligaciones y del seguimiento del desempeño.
2. Cuando en el contrato se detallan las funciones de terceros e incluyen el uso de paneles de arbitraje para disminuir el sesgo de ser juez y parte.
3. Cuando en el contrato se establecen acuerdos específicos para la prestación de servicios, como las tarifas, renovación de concesiones, estándares de calidad, etc. En esta variante si se incluye una instancia reguladora quien administra los acuerdos (Camacho y Casados, 2017).

### **2.6.1.4 Regulación por Outsourcing**

En este modelo la regulación está a cargo de contratistas externos, que pueden ser agencias reguladoras que cumplen con funciones como: revisión de tarifas, evaluaciones comparativas, monitoreo del cumplimiento y resolución de disputas, entre otras. Es un modelo viable cuando se cumplen ciertas condiciones: no hay problemas relacionados con la independencia, capacidad o legitimidad de un regulador, también es viable cuando se requiere apoyo adicional para lograr una administración efectiva.

Cuando se aplica este modelo y se contrata a un regulador externo, las decisiones estratégicas se realizan internamente por parte de la autoridad reguladora. Suele traer beneficios ya que permite contratar a especialistas que fortalecerán la prestación del

servicio, los contratistas pueden desarrollar competencias internas básicas, como la independencia y la legitimidad del regulador, además las evaluaciones son más objetivas lo que contribuye a la credibilidad (Camacho y Casados, 2017).

## **2.7. La prestación del servicio público del agua en México**

De acuerdo con la CONAGUA (2015), la prestación del servicio público del agua en México se fundamenta en el reconocimiento constitucional del derecho humano al agua donde se enuncia la responsabilidad del Estado de asegurar a todas las personas el acceso a agua potable y servicios de saneamiento (Artículo 4º Constitucional, 2021, p.10).

Para dar cumplimiento a este derecho, la CONAGUA reconoce que la prestación de los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales a nivel municipal, debe sustentarse en los principios inherentes a los derechos humanos y las buenas prácticas en la gestión y para ello los organismos operadores deberán realizar reformas a sus reglamentos, actualizarlos y buscar proveer de manera continua y con calidad la prestación de sus servicios (CONAGUA, 2015). La prestación de los servicios públicos del agua y saneamiento con calidad, accesibilidad física y económica, no discriminación y accesibilidad a la información debe estar reglamentado.

### **2.7.1. Los servicios públicos y su prestación**

1. Criterio Orgánico, considera al servicio público como “la actividad satisfecha por la Administración Pública, directamente por sí o indirectamente por intermedio de concesionarios (Marienhoff, 1983, en CONAGUA, 2015, p. 10). Bajo este criterio la responsabilidad de la prestación recae en toda la organización y no sólo en una persona o área.
2. Criterio Funcional, desde este criterio, el servicio es público cuando la necesidad que atiende o busca satisfacer corresponde con una de carácter general independientemente de que lo preste la Administración Pública de forma directa o indirecta.
3. Criterio Jurídico, bajo este criterio será público lo que sea establecido en el régimen jurídico del orden público que lo regule, dicha regulación deberá buscar el bien general por encima del particular.
4. Criterio legal, señala que los servicios públicos serán los señalados por la Ley, es decir, aquellos que sean definidos como tal. (CONAGUA, 2015, p.10-11)

De acuerdo con Arnaldo de Valles (2015), se pueden distinguir dos tipos de servicios públicos:

- a. Servicios públicos propios. Son los servicios orientados a satisfacer necesidades de carácter general que se rigen por un régimen jurídico especial y diferente del derecho privado, son reconocidos en la Ley como tal y son provistos por la Administración Pública de forma directa o indirecta a través de concesionarios.
- b. Servicios públicos impropios. Son los servicios públicos que no están definidos por la Ley y que son prestados por particulares sin la mediación de la Administración Pública a través de leyes o concesiones. (CONAGUA, 2015, p. 11)

### **2.7.2. Características jurídicas de los servicios públicos:**

1. Generalidad o Universalidad. Refiere a la posibilidad de que todas las personas puedan usar el servicio público de acuerdo a las normas que los rigen.
2. Igualdad o Uniformidad. Trato equitativo y uniforme para los usuarios de los servicios y proporcionado de forma indiscriminada.
3. Regularidad. Esta característica se deriva de la relación comercial entre contratantes de un servicio público, e incluye el horario, las condiciones técnicas, de seguridad, las tarifas y la provisión periódica del servicio.
5. Continuidad. La prestación del servicio público no debe ser interrumpido a menos que exista un acuerdo previo o se hayan establecido las condiciones de interrupción, las horas, fechas y circunstancias y el servicio debe ser reestablecido en el menor tiempo posible. (Marienhoff, 1983, en CONAGUA, 2015, p. 11-12)

Además, CONAGUA (2015) destaca que pueden considerarse la Obligatoriedad, Permanencia y Adaptabilidad como parte de las características de los servicios públicos.

- a. Obligatoriedad. Con base en el argumento de que el servicio público satisface una necesidad de carácter general, la prestación de dicho servicio por parte del Estado o con un particular mediante convenio debe ser obligatorio.
- b. Adaptabilidad. Refiere a la capacidad de adaptación en la regulación de la prestación del servicio público conforme a las necesidades particulares del contexto y los avances tecnológicos vigentes.

c. Permanencia. La prestación del servicio público debe darse mientras permanezca la necesidad de carácter general que se busca atender. (CONAGUA, 2015)

### **2.7.3. Clasificación de los servicios públicos**

1. Federales. Los servicios públicos en este nivel pueden presentarse en la modalidad de monopolio al ser de carácter exclusivo por parte del Estado y en algunos casos puede existir la concurrencia con otras entidades públicas.

2. Estatales. Son servicios públicos exclusivos de los Estados, regulados por su propia legislación, puede existir la coordinación con entidades de la Federación o con Municipios para la prestación de determinados servicios públicos.

3. Municipales. La relación de los servicios públicos de este nivel suele ser más amplia ya que se organizan por tipo de servicio o categoría: servicios básicos (agua potable, drenaje, alcantarillado, vías de comunicación, calles, banquetas, alumbrado público), básicos complementarios (limpieza, recolección de basura, limpia general, central de abasto, mercados, rastro y panteones), seguridad y servicios de protección a la comunidad y bienestar social (servicios de salud, prevención de accidentes, contaminación, comunicación social, rescate, cuidado al patrimonio histórico, cultural y acción deportiva) (CONAGUA, 2015, p. 13).

### **2.8. Los Municipios y la prestación del servicio público del agua**

Las reformas constitucionales al Artículo 115 han generado nuevas condiciones a los municipios que les facilita la prestación de servicios públicos, entre estas nuevas condiciones está el periodo de duración de las Administraciones Municipales, con ciclos de seis años, los gobiernos locales tienen la oportunidad de prestar los servicios públicos básicos, entre ellos , el agua potable, ya que pueden realizar la planeación, administración y gestión del recurso, además, las atribuciones y facultades constitucionales para aprobar reglamentos, circulares y demás disposiciones normativas les ha dotado de capacidades para la administración, regulación de aspectos empresariales, la participación social y ciudadana, y la intervención de particulares en la prestación de dichos servicios.

Además de las facultades constitucionales y normativas, los municipios también presentan ventajas territoriales ya que representan la descentralización administrativa territorial regional o por región, cuentan con personalidad jurídica propia en un ámbito

territorial específico, cumple con actividades administrativas, tiene autonomía orgánica con respecto a los gobiernos estatales y además es la instancia facultada para brindar los servicios públicos a los individuos establecidos en su territorio, con todo ello, los municipios deben fortalecer los mecanismos de gestión y prestación de los servicios públicos en cualquiera de las categorías.

Con base en el Artículo 115 Constitucional, fracción III, inciso a e inciso i, los municipios son los encargados de la prestación de los servicios públicos del agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, sin embargo, la modalidad de prestación está abierta y puede realizarse a través de un organismo operador ya sea descentralizado, desconcentrado o de coordinación intermunicipal e incluso mediante la concesión a particulares pero los responsables directos de la prestación, son los municipios. Por tanto, se deben generar los mecanismos de coordinación necesarios con los tres órdenes de gobierno para brindar adecuadamente dichos servicios.

Jiménez (2005) destaca que a pesar de las facultades normativas con las que cuenta el municipio para la prestación de los servicios públicos básicos, existen factores normativos, sociales y territoriales que limitan la capacidad de gestión municipal ya que estos representan entornos distintos en sus condiciones sociales, territoriales, culturales, económicas, etc. y resalta la diversidad de tipos de municipios en México, urbanos, rurales, grandes, pequeños, conurbados, etc.

De acuerdo con Jiménez (2005) la reforma al artículo 115 constitucional de 1983 determinó que los municipios deben ajustarse a la regulación, que en materia de aguas, establezca la federación y la correspondiente entidad federativa de forma que existe un vínculo entre el régimen de abastecimiento de aguas con el régimen de aguas estatales o federales, y los municipios reciben la habilitación administrativa para el destino y aprovechamiento del agua por parte de la federación, a este respecto, Jiménez (2005) destaca que en aquellos asuntos donde exista materia estatal o federal, los municipios deben seguir las determinaciones supralocales, y esto ocurre precisamente con la gestión del recurso del agua, el Estado interviene otorgando la habilitación administrativa y estableciendo las condiciones y términos bajo los cuales, los municipios pueden acceder al recurso del agua y como deben devolverla.

En México, la gestión de los servicios públicos se realiza a través de los órganos administrativos creados para ello y la decisión de crearlos se deriva de las Leyes

Estatales que imponen a los municipios la creación de dichos órganos con capacidad de autogestión. En términos generales, las Leyes Estatales exigen a los municipios la adopción de un determinado modelo, descentralizado, para la gestión integral de los servicios públicos de abastecimiento del agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento. Esta influencia de las Leyes Estatales, limita a los municipios en la posibilidad de poder generar colaboraciones con el sector privado para atender problemáticas vinculadas a dichos servicios públicos y por tanto ha limitado la posibilidad de fortalecer la gestión de los mismos (Jiménez, 2005).

## **2.9. La prestación del servicio público del agua y el ordenamiento territorial**

De acuerdo con Méndez y Pascale (2014), el Ordenamiento Territorial es:

Es un proceso político-técnico-administrativo orientado a la organización, planificación y gestión del uso y ocupación del territorio, en función de las características biofísicas, culturales, socioeconómicas y político-institucionales” (Méndez y Pascale, 2014, p.6).

Desde el punto de vista de los municipios, el ordenamiento territorial es necesario para realizar una distribución más equitativa, para alcanzar el desarrollo y lograr un equilibrio entre los objetivos económicos y los intereses de los distintos tipos de ocupantes del mismo. A nivel municipal es necesario trabajar de cerca con la comunidad y sus actores, resolviendo conflictos y tomando en cuenta las necesidades y problemáticas de la comunidad. El desarrollo del municipio requiere de la planificación del espacio y los sistemas productivos para impulsar economías locales, fomentar el arraigo de la población y promover la competitividad sistémica y la productividad territorial (Méndez y Pascale, 2014).

En el ordenamiento territorial, el recurso del agua representa un elemento de gran impacto para el desarrollo de las actividades y de los propios individuos, Calderón, Zulaica, Massone y Torre (2020), destacan la relación en dos direcciones de este recurso con el desarrollo territorial, por un lado el agua posibilita las actividades productivas y sociales, y por otro, estas actividades generan efectos negativos sobre el recurso al existir la sobre explotación de los mantos acuíferos, la contaminación de los recursos hídricos, la erosión, las inundaciones, etc. (Calderón, Zulaica, Massone y Torre, 2020).

De esta forma, los planes de ordenamiento territorial deben contener en su base elementos asociados a la gestión integrada del agua, Luege (2012) destaca que el ordenamiento territorial es el principal reto para mejorar las políticas públicas en materia de agua y enfatiza la importancia de realizar una adecuada planeación donde se respete los bosques, las áreas de recarga de acuíferos, las zonas naturales de inundación y las zonas aledañas a los ríos, y con ello se logrará, en gran medida, cumplir con las metas planteadas a nivel nacional en materia de agua potable, drenaje, saneamiento de aguas negras y seguridad de la población ante fenómenos hidrometeorológicos, menciona además, que los crecimientos urbanos desproporcionados, sobrepoblados y sin planeación son obstáculos para la mejora del servicio que prestan los organismos operadores en el país.

Las ventajas del proceso de ordenamiento territorial son diversas, Méndez y Pascale (2014) mencionan las siguientes:

1. Fortalece la competitividad de los sistemas productivos locales.
2. Genera oportunidades de inversión productiva con agregado de valor en origen para el desarrollo económico de la región.
3. Mitiga y previene los conflictos entre actividades humanas y su impacto ambiental.
4. Orienta el uso adecuado de los recursos naturales de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones, contribuyendo al manejo sostenible de áreas de fragilidad ecosistémica.
5. Favorece la vinculación y conexión entre áreas urbanas y rurales.
6. Direcciona las inversiones públicas y privadas de infraestructuras productivas.
7. Disminuye y previene riesgos naturales y antrópicos.
8. Optimiza la organización de los asentamientos humanos, el arraigo de la población y el acceso a los servicios de infraestructura; y
9. Propicia el acceso de la población a condiciones de seguridad alimentaria.

De acuerdo con Morel (2002) en Jouravlev (2003), el ordenamiento territorial es un instrumento de manejo de cuencas que busca orientar el proceso de ocupación y transformación del territorio (la localización de las actividades y usos del espacio), con base en su capacidad de carga o aptitud para acoger en él una determinada actividad. El plan de ordenamiento territorial actúa correctivamente en el proceso de transformación territorial compatibilizando las expectativas e intereses del medio social con la capacidad de soporte del sistema natural, y así se establece un régimen de uso y ocupación del

espacio en función de la capacidad de carga del territorio que puede ser orientarlo hacia un desarrollo sostenible.

El uso óptimo que se asigne a las unidades territoriales es el resultado de un proceso de análisis de los componentes físicos, biológicos, infraestructurales, socioeconómicos y culturales del territorio y del proceso de concertación de intereses entre los actores sociales. (Jouravlev, 2003, p.32)

Morel (2002) en CEPAL (2003) destaca que, en materia de aguas, el ordenamiento territorial a través de los gobiernos locales puede dar protección a las cuencas de captación, a las áreas de recarga de las aguas subterráneas y las áreas de amortiguamiento de las zonas protegidas, además de promover y garantizar el respeto de los sistemas naturales de drenaje y controles de uso de áreas inundables y áreas ecológicamente relevantes. Para tales fines el ordenamiento territorial debe generar una zonificación adecuada que incluya exclusión y regulación de ciertas actividades con el objetivo de armonizar el desarrollo socioeconómico a nivel local protegiendo los recursos hídricos y la mitigación del efecto de fenómenos naturales extremos (Jouravlev, 2003, p.32).

## **2.10. La política pública sobre el agua en México**

De acuerdo con López (2017), la política pública del agua en México es inadecuada, ya que el gobierno emite títulos de concesión sobre el agua subterránea y superficial para su uso económico y estos volúmenes concesionados no son consistentes con la sustentabilidad ambiental, además destaca que el esquema de tarifas implica subsidios importantes como el que refiere a la tarifa cero para agua de irrigación siempre y cuando no se supere lo concesionado y además se subsidia la energía utilizada en el bombeo.

Desde su punto de vista, López (2017) refiere que la política pública de agua debe atender criterios de sustentabilidad ambiental, se deben actualizar los derechos de concesión para tomar en cuenta la escasez del recurso en el país, eliminar el subsidio al agua de irrigación que está concentrado en la agroindustria, buscar la incorporación de nueva tecnología, incrementar la capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales e incrementar el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria y los sectores productivos (López, 2017, p.15)

Por su parte, Pineda, et al, (2017), refiere que la política pública de agua en nuestro país se enfocó por muchos años en la cobertura del servicio, lo que permitió que el acceso a este recurso, sobre todo en zonas urbanas se incrementara significativamente, pasando de un 70% de la población urbana que disponía de agua potable en 1970 a un 93% en el año 2010 y en zonas rurales aumento de 20% a 70% para el mismo periodo.

Sin embargo, al analizar la eficiencia de los organismos operadores en el proceso de gestión del agua, los valores se ubican entre el 63% y el 76%, además en los resultados presentados por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) respecto a la percepción de los ciudadanos el 37.9% de los habitantes de localidades de 100 mil o más, opinaron que el servicio de agua es intermitente y solo el 51.7% está satisfecho con el servicio. Pineda, et al (2017) destaca que la calidad en la gestión del servicio y las eficiencias en la operación están estancadas en una zona de confort y de mediocridad desde los años noventa, a pesar de que las inversiones destinadas a este sector suelen ser altas.

De acuerdo con Pineda, et al (2017), existe un círculo vicioso, donde los usuarios no pagan por el recurso porque es deficiente, el servicio no mejora por falta de recursos y las autoridades responsables parecen no tener instrumentos financieros ni incentivos para hacer autosuficiente el servicio y prestar un servicio de calidad (Pineda, et al, 2017, p. 176).

Por tanto, la mejora en la prestación del servicio público del agua recae en la posibilidad de impactar aspectos específicos de los organismos operadores que permitan resolver problemáticas en tres áreas:

- a. Los problemas de generación, confiabilidad y estandarización de la medición e información estadística sobre la gestión del agua urbana.
- b. El estancamiento de los indicadores de eficiencia física y comercial de los sistemas, con algunas excepciones de casos destacados.
- c. Una ciudadanía poco satisfecha con los servicios y que desconfía de la calidad del agua suministrada. (Pineda, et al, 2017, p.176)

Pineda, et al (2017) destaca que el marco institucional puede ser un factor de gran impacto en la mejora del proceso de gestión del agua por parte de los organismos

operadores de agua, ya que concentra las reglas, normas y costumbres que determinan la forma en que se administra el agua en México y a este respecto ya se ha precisado que dicho marco institucional se encuentra determinado por el contexto normativo que se generó a partir de la reforma constitucional de 1983 donde se trasladó a los municipios la responsabilidad de la prestación de este servicio y que se complementó con la creación de la CONAGUA a partir de 1989, que funge hasta ahora como la instancia responsable de generar y diseñar la política de manejo urbano del agua en nuestro país.

Desde la perspectiva de Pineda, et al (2017) la CONAGUA ha venido impulsando un perfil y modelo empresarial de gestión del agua con organismos operadores autónomos que cuenten con la autonomía financiera y capacidad técnica para operar los servicios urbanos de agua con orientación de servicio al cliente, modelo que ha permitido fortalecer a los organismos operadores en algunos aspectos institucionales, sin embargo, al no romper el vínculo entre el servicio y la política manteniendo a los organismos operadores subordinados a los alcaldes y gobernadores, los resultados se han visto limitados y la participación privada ha permanecido sólo en algunos aspectos relacionados con la infraestructura, como la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, en este sentido y hasta mediados de los años noventa, sólo las ciudades de Aguascalientes, Cancún y Novojoa contaban con alguna participación privada, en la Ciudad de México sólo se concesionó el área comercial para la medición y cobranza del servicio.

En 2001 se creó una empresa mixta en la ciudad de Saltillo, en 2013 se concesionó a un particular los servicios de agua en la ciudad de Puebla y en 2016 también se concesionó el servicio en la ciudad de Veracruz, por lo que el resultado es que los organismos operadores de agua son en su mayoría de tipo público con bajos niveles de calidad en sus servicios, entre los problemas que han generado estas condiciones destacan las siguientes:

- a. Designación y remoción de directivos con criterios políticos. En su mayoría, la designación de estos cargos obedece a la relación personal que se tiene con el gobernante en turno y en ocasiones se hace coincidir el perfil con la relación política, designando a ingenieros con experiencia en temas relacionados con el agua. Las designaciones realizadas por los gobernantes determinan las prioridades en el manejo de agua que caracterizarán a su periodo de gobierno, así, por ejemplo, si el nombramiento es meramente político y el designado no

cuenta con experiencia en el sector, los criterios en el manejo serán políticos y por esas vías se resolverán también los conflictos, se impulsarán obras y acciones que permitan mantener una buena imagen de quien lo designo y del partido político al que pertenezcan.

La remoción de los directivos también se realiza bajo los criterios políticos, y obedece a los reacomodos que así son convenientes a los gobernantes sobre todo en los periodos de cierre de su gobierno, no se evalúa el desempeño, ni las metas alcanzadas, por lo tanto, tampoco hay reconocimientos a los logros lo cual hace reflexionar sobre si existen entonces motivaciones para hacer un buen trabajo.

- b. Alta rotación de directivos. La duración de los directivos en los organismos operadores está condicionado al periodo de duración de los gobiernos por lo que sus acciones están limitadas en cuanto a la planeación de mediano y largo plazo, además, la movilidad de directivos suele ir acompañada de la rotación de mandos medios y hasta operativos en los organismos perdiéndose la experiencia de los trabajadores, esto hace que los procedimientos operativos se centren en mantener controladas las situaciones de quejas y conflictos buscando evitar costos políticos.
- c. Ausencia de sanciones al no pago del servicio. El servicio público del agua se sostiene del cobro que se realiza a los usuarios y de la puntualidad con que se realicen los pagos y a diferencia de otros servicios públicos, el agua no tiene una sanción establecida para quienes no realicen en tiempo y forma dichos pagos, en la gran mayoría de los organismos operadores prevalece la política de no suspender el servicio, sino sólo amonestar o disminuir el suministro, además cuando existen atrasos, los organismos operadores suelen ofrecer descuentos para que los usuario se pongan al corriente, esto hace que los usuarios puntuales terminen pagando un servicio más caro, se premia al que debe y se castiga al que paga puntual (Pineda, et al, 2017, p. 180). La imposibilidad de suspender el servicio se fundamenta en el artículo 121 de la Ley de Salud que establece:

Las personas que intervengan en el abastecimiento de agua no podrán suprimir la dotación de servicios de agua potable y avenamiento de los edificios habitados, excepto en los casos que determinen las disposiciones generales aplicables (Artículo 121, Ley de Salud, 2021, p.62).

d. Servicio gratuito a los bienes de dominio público. Suele ser una práctica común que a dependencias y organismos de la Administración Pública no se les cobre el servicio del agua, fundamentándose en lo establecido en el Artículo 115 constitucional donde se establece que los bienes de dominio público estarán exentos del pago de los servicios públicos y esto representa un impacto significativo debido a:

1. El Sector Público es de considerable dimensión y el no pago del mismo representa un subsidio no reconocido.
2. Se genera desorden en los registros contables y administrativos referentes a padrones de usuarios, medición del servicio y en las finanzas de los organismos.
3. Se orilla a la quiebra de los organismos operadores por problemáticas financieras.

Este contexto aunado a los problemas macro del agua como los efectos del calentamiento global, la contaminación, la sobrepoblación e incremento de la demanda del servicio han condicionado a la ineficiencia de los organismos operadores ante la falta de capacidades técnicas, humanas y tecnológicas que les permitan hacer frente a estas problemáticas, por ello evaluar y conocer a detalle su condición actual y su eficiencia permitirá fortalecer la toma de decisiones y la construcción de mejores políticas públicas en materia hídrica para el país.

## Conclusiones

En este capítulo se han descrito los componentes de la gestión pública del agua en México, desde la base normativa que fundamenta la actuación de los municipios y los Organismos Operadores, la gestión de los servicios públicos, la gestión de los recursos hídricos, la regulación de los organismos operadores y la política pública del agua en México.

El fundamento legal básico para la operación de los Organismos Operadores se encuentra en la Constitución Política y en la Ley de Aguas Nacionales. Los Artículos 4, 27 y 115 Constitucionales establecen el derecho al acceso, la disposición y el saneamiento de agua, la propiedad de las aguas por parte de la Nación y la obligación de los municipios para prestar los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.

Por su parte en la Ley de Aguas Nacionales, los Artículos 20 y 44 detallan los mecanismos autorizados para la explotación, uso y aprovechamientos de los recursos hídricos del país, específicamente lo relacionado a la concesión y creación de organismos operadores en los que se puede delegar la prestación de los servicios públicos del agua.

También existe normatividad secundaria como la Ley Federal de Derechos, el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y las Normas Oficiales Mexicanas que precisan los aspectos ambientales y de sanidad que deben cumplirse en la prestación de este servicio.

De acuerdo con la normatividad revisada, los municipios tienen la obligación de prestar los servicios públicos del agua, pero también tienen la facultad de delegar esta función en organismos cuyas figuras jurídicas pueden ser sistemas descentralizados, juntas locales, departamentos y comités de usuarios o bien como empresas concesionarias privadas.

De esta forma, la prestación del servicio público del agua ha recaído en organismos operadores regulados por autoridades gubernamentales, cuya condición actual requiere del fortalecimiento en aspectos tales como: la generación, confiabilidad y estandarización de la medición e información estadística sobre la gestión del agua urbana; los indicadores de eficiencia física y comercial de los sistemas; la percepción ciudadana en la calidad del

recurso y la prestación del servicio, además de mejorar su capacidad de respuesta ante cambios en la demanda y en factores externos que impactan la disponibilidad del recurso.

## **Capítulo 3 Modelo de evaluación de la eficiencia en los organismos operadores del agua en México**

## Capítulo 3 Modelo de evaluación de la eficiencia en los organismos operadores del agua en México

### 3.1 Introducción

Mediante el uso de herramientas y técnicas matemáticas para el análisis de datos se estudian y plantean soluciones a problemáticas sociales que requieren una atención cada vez más detallada y precisa, entre ellas se encuentran las problemáticas relacionadas al abastecimiento del agua que en los últimos años han ido en incremento debido a múltiples factores, entre ellos, el crecimiento poblacional, el cambio climático, el deterioro de los mantos acuíferos, la ausencia de proyectos adecuados para el tratamiento de aguas residuales, entre otros.

En esta investigación se plantea el análisis de la eficiencia del agua en México, a través del uso del Análisis Factorial Exploratorio, herramienta que permitirá construir un índice de eficiencia general sobre el abastecimiento del agua (IEGAA) en México. Al ser una técnica para la reducción de datos, el Análisis Factorial Exploratorio permite examinar la interdependencia de variables y proporciona información sobre la estructura subyacente de los datos, mediante la simplificación de la información, esto representa una ventaja frente a otras técnicas de la reducción de la dimensión.

La construcción de un índice permite contar con un instrumento de seguimiento y evaluación, los índices son indicadores compuestos que se integran de diversas variables y que a su vez son el resultado del análisis de relaciones complejas<sup>11</sup>, el Análisis Factorial es una técnica que permite reducir la información e identificar los Factores<sup>12</sup> que involucran a las variables de mayor peso en el fenómeno de estudio. Con base en el modelo de eficiencia planteado por el organismo rector de la política pública de agua, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), busca obtener un Índice de Eficiencia General para los organismos operadores de agua en México, como un instrumento que no sólo proporcionará información sobre el fenómeno de estudio y las variables que inciden en él, sino que también permitirá contar con un indicador de seguimiento y evaluación que puede ser replicado y empleado en la mejora de los servicios de abasto de agua en México.

---

<sup>11</sup> Para la CEPAL “un indicador compuesto es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente. CEPAL, pag. 13.

<sup>12</sup> El Factor, también llamado variable latente, subyacente o constructo, es una variable no observable que influye en más de una medida observada y que da cuenta de las correlaciones entre dichas medidas observadas, Fernández, 2015, pag. 41

## **3.2 Metodología de Investigación**

La construcción del Índice de Eficiencia General sobre el abastecimiento del agua (IEGAA) se realiza con base en la metodología del Análisis Factorial Exploratorio, este tipo de técnica busca descubrir la estructura interna de un conjunto de variables basándose en la hipótesis de que pueden existir una serie de factores asociados a dichas variables, la carga de cada uno de los factores se utiliza para intuir la relación de dichos factores con las distintas variables (Cruz, 2018, pag.8), a partir de los siguientes pasos:

- Objetivos
- Diseño
- Supuestos
- Derivación de los Factores
- Evaluación del ajuste global

### **3.2.1 Objetivos**

El análisis factorial tiene como objetivo básico la reducción de variables y la determinación de factores, de acuerdo con Méndez y Rondón (2012), el análisis factorial exploratorio es el más indicado cuando el objetivo principal es la reducción de variables y la determinación de factores o variables latentes, cuando el objetivo es la obtención de una nueva estructura específica a partir de la reducción de variables, por tanto, la herramienta estadísticas más indicado para la reducción de la dimensión de datos complejos es el análisis factorial confirmatorio.

### **3.2.2 Diseño**

Es la etapa donde se definen los datos a utilizar, los cuales para el caso del análisis factorial deben ser numéricos, en esta investigación, se han considerado los datos disponibles de 2012 a 2018 para las cinco eficiencias en el sistema del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), donde se encuentra la información de 387 organismos operadores de agua en México.

### **3.2.3 Supuestos**

El análisis factorial parte del supuesto de normalidad y de grados moderados de correlación entre las variables, por lo que al iniciar el análisis se deben realizar

evaluaciones para determinar los grados de correlación y pruebas de normalidad, de acuerdo con Méndez y Rondón (2012) se puede realizar lo siguiente:

- Realizar una inspección visual de la matriz de correlación esperando encontrar correlaciones mayores a 0.30.
- También se puede utilizar la prueba de esfericidad de Bartlett, donde se evalúa la hipótesis nula de que no existe correlación entre las variables y, por tanto, la matriz de correlación es la matriz identidad.
- Otro método es la evaluación de la fuerza de la relación entre dos variables a partir de correlaciones parciales utilizando el índice Kaiser Meyer Olkin (KMO) cuyo resultado de aceptación se encuentran entre 0.80 y 1.
- Un método más es el Índice de adecuación de la muestra individual (MSA) que indica que tanta correlación tiene un ítem específico con los demás ítems en la matriz y sus resultados también son de aceptación entre más próximos se encuentren al valor de 1.
- Por último, se puede calcular el determinante de la matriz de correlaciones, donde se espera que tome valores entre 0 y 1, si el resultado se aproxima a cero sin llegar a este valor entonces se considera válido realizar el análisis factorial y si el resultado es próximo a 1 entonces las variables son independientes y no habría porque hacer el análisis.

Méndez y Rondón (2012) recomiendan realizar por lo menos dos de las pruebas y si existe evidencia de correlación entonces proceder al análisis factorial.

### **3.2.4 Derivación de Factores**

Las metodologías para la extracción de factores son dos: el análisis de componentes principales y el análisis de factores comunes<sup>13</sup>, la decisión de cual emplear está en función de la dispersión de las variables. A mayor interrelación entre las variables existe mayor varianza, a su vez, la correlación entre dos variables elevada al cuadrado se conoce como su total de varianza compartida (Méndez y Rondón, 2012, p. 202). De esta forma la varianza se divide en tres partes: la comunalidad, la unicidad y el error de varianza:

---

<sup>13</sup> Para decidir cual, es el método a utilizar se deben considerar los objetivos del análisis factorial y considerar que tanto se sabe de las variables que se estudiarán, de esta forma, Méndez y Rondón (2012) consideran que cuando el error de varianza y la varianza única son relativamente pequeñas o cuando se busca reducir variables, se recomienda el análisis de componentes principales. Por otro lado, si el objetivo es crear nuevos factores o dominios entonces se recomienda el análisis de factores comunes. (p. 202)

- La comunalidad, también llamada varianza común, es la cantidad de varianza compartida con las demás variables del análisis.
- La unicidad, o varianza específica, es la cantidad de varianza que solo depende de la variable y no puede explicarse por medio de otras.
- El error de varianza es la cantidad de varianza que se debe al error aleatorio.

Para la determinación del número de Factores se debe buscar la mejor combinación lineal que explique la variabilidad de las variables originales, de forma que cuando se generen los nuevos Factores, el primer Factor sea el que mayor varianza explica, posteriormente el segundo Factor, independiente al primero, sea el siguiente con la mayor varianza y así sucesivamente, de forma que el número de Factores calculado sea igual al número de variables.

#### **3.2.4.1. Interpretación de Factores**

El modelo de Análisis Factorial es cierto, si se verifica:

$$\text{Corre}(X_i, F_l) = \text{Cov}(X_i, F_l) = \sum_{j=1}^k a_{ij} \text{Cov}(F_j, F_l) \quad \forall i = 1, \dots, p ; l = 1, \dots, k. \quad (6)$$

Y, en particular, si los factores son ortogonales

$$\text{Corre}(X_i, F_l) = a_{il} \quad \forall i = 1, \dots, p ; l = 1, \dots, k. \quad (7)$$

Por tanto, la matriz de cargas factoriales (A) tiene un papel fundamental en la interpretación y las cargas factoriales al cuadrado ( $a_{il}^2$ ) indican si los Factores son ortogonales, qué porcentaje de la variable original ( $X_i$ ) es explicado por el Factor  $F_l$ . De la Fuente (2011) destaca que la mejor interpretación de los Factores dependerá de la teoría que subyace y del problema que se estudia.

#### **3.2.4.2. Rotación de Factores**

Cuando los métodos de extracción de Factores no proporcionan matrices de cargas factoriales adecuadas para la interpretación se emplean los procedimientos de Rotación de Factores a través del cual se buscan Factores cuya matriz de cargas factoriales sean más fácilmente interpretables. Las formas básicas de rotación de Factores son la Rotación Ortogonal y la Rotación Oblicua.

En la rotación ortogonal los ejes se rotan de forma que quede preservada la incorrelación entre los Factores. Esta rotación se basa en el problema de falta de identificabilidad de los Factores obtenidos por rotaciones ortogonales, de forma que si T es una matriz ortogonal con  $TT' = T'T = I$ , entonces:

$$X = FA' + U = FTT'A' + U = GB + U. \quad (8)$$

La matriz G geoméricamente es una rotación de F, verificando las mismas hipótesis que ésta. Se trata de buscar una matriz T tal que la nueva matriz de cargas factoriales B tenga muchos valores nulos o casi nulos y unos pocos valores cercanos a la unidad de acuerdo con el principio de estructura simple. (De la Fuente, 2011, p.17)

En este tipo de rotación se utilizan los siguientes métodos:

- a. **Varimax:** Es un método de rotación que minimiza el número de variables con cargas altas en un Factor mejorando la interpretación de Factores. Este método considera que, si se logra aumentar la varianza de las cargas factoriales al cuadrado de cada factor consiguiendo que algunas de sus cargas factoriales tiendan a acercarse a 1 mientras que otras se aproximan a 0, se obtiene una pertenencia más clara e inteligible de cada variable al Factor. El método Varimax determina la matriz B de forma que maximice la suma de las varianzas:

$$V = p \sum_{i=1}^p k \sum_{j=1}^k (b_{ij}^2 - b_i^2)^2 \quad \text{donde; } b_i^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k b_{ij}^2 \quad (9)$$

Esto permite que cada variable concentre su pertenencia en un determinado Factor, es decir, que presente una carga factorial alta mientras que, en los demás Factores, sus cargas factoriales tienden a ser bajas, con esto, la interpretación es más clara ya que es más evidente hacia que Factor se inclina, con más fuerza, cada variable. (De la Fuente, 2011, p.18)

- b. **Quartimax:** Busca que cada variable tenga correlaciones elevadas con un pequeño número de Factores, maximizando la varianza de las cargas factoriales al cuadrado de cada variable en los Factores, es decir, trata de maximizar la función: (De la Fuente, 2011, p.18)

$$S = \sum_{i=1}^p k \sum_{j=1}^k (b_{ij}^2 - b_i^2)^2 \quad \text{donde; } b_i^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k b_{ij}^2 \quad (10)$$

Esto permite que cada variable concentre su pertenencia en un determinado Factor, esto es, presente una carga factorial alta mientras que, en los demás Factores, sus cargas factoriales tienden a ser bajas y con ello la interpretación es más clara, por cuanto la comunalidad total de cada variable, permanece constante, quedando más evidente hacia qué Factor se inclina con más fuerza cada variable (De la Fuente, 2011, p.18).

**c. Equamax:** Busca maximizar la media de los criterios anteriores siguiendo también un comportamiento similar al de los métodos anteriores. Se recomienda cuando el número de observaciones es elevado (De la Fuente, 2011, p.18).

**c. Oblimin:** Este método busca minimizar la expresión:

$$\sum_{s < q = 1}^k \left[ \alpha \sum_{i=1}^p b_{is}^2 b_{iq}^2 + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^p (b_{is}^2 - \overline{b_s^2}) (b_{iq}^2 - \overline{b_s^2}) \right] \quad (11)$$

$\sum_{s < q = 1}^k \sum_{i=1}^p b_{is}^2 b_{iq}^2 \equiv$  Controla la interpretabilidad de los Factores

$\sum_{s < q = 1}^k \sum_{i=1}^p (b_{is}^2 - \overline{b_s^2}) (b_{iq}^2 - \overline{b_s^2}) \equiv$  Controla la ortogonalidad de los Factores

Para  $\alpha = 1$  se alcanza el máximo grado de oblicuidad

Cuanto más  $\alpha$  se aproxima a 0, más ortogonales son los Factores.

**e. Promax:** Este método altera los resultados de una rotación ortogonal hasta encontrar cargas factoriales lo más próximas a la estructura ideal. La estructura ideal se obtiene elevando a una potencia (entre 2 y 4) las cargas factoriales obtenidas en una rotación ortogonal. (De la Fuente, 2011, p.18)

Por el método Promax se busca una matriz T tal que  $A T = H$ .

Se multiplican ambos miembros por la matriz  $(A^i A)^{-1} A^i$ , se tiene:  $T = (A^i A)^{-1} A^i H$

### 3.2.4.3 Interpretación de los Factores

En la interpretación de los Factores, Méndez y Rondón (2012) destacan que se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: Estimar la matriz de Factores, ya que al obtenerlos se identifica el peso cada variable, valores altos representan mayores contribuciones, y por

consiguiente valores bajos representan menor contribución. Cuando se busca obtener nuevos Factores, se sugiere rotar los ejes de los nuevos Factores.

- Paso 2: Rotación de Factores, consiste en rotar los ejes factoriales a distintos grados manteniendo fijo el origen de manera que se realiza una redistribución de la varianza de las variables originales hacia los Factores para lograr una mejor interpretación. Los métodos de rotación de factores son de dos tipos: ortogonales y oblicuos. Los métodos ortogonales más comunes son *varimax*, *quartimax* y *equamax*. Los métodos de rotación oblicuos más comunes son el *oblimin* y el *promax*.

#### **3.2.4.4 Evaluación de la significancia de Factores**

La evaluación de los Factores en cuanto a su significancia se realiza estadísticamente y de forma práctica:

- Estadísticamente, se evalúa la significancia de las ponderaciones, de forma que valores por debajo de 0.3 son no significativos, entre 0.3 y 0.5 es aporte mínimo, entre 0.5 y 0.7 de aporte significativo y resultados mayores a 0.7 es considerado relevante.
- La evaluación práctica, corresponde a un análisis de los resultados con base en la experiencia y el conocimiento que se tenga sobre el problema de estudio.

### **3.3 Planteamiento del Problema**

A nivel nacional existen diversas problemáticas relacionadas con el abasto del agua, tanto en zonas urbanas como rurales, de acuerdo con el Programa Nacional Hídrico 2019-2024, a nivel nacional sólo el 58% de la población del país tiene agua diariamente en su domicilio y cuenta con saneamiento básico mejorado<sup>14</sup>. En el medio urbano se alcanza un valor de 64% y en el medio rural del 39%.

Los prestadores del servicio de agua en el país son, en su mayoría, organismos públicos descentralizados, el 8.5% son paraestatales y el 3.5% son concesionarios privados, órganos desconcentrados de los estados y municipios, empresas público-privadas y operadores federales, que se enfrentan a diversas dificultades, entre ellas, la insuficiencia de recursos financieros para operar adecuadamente, problemas de recaudación, bajas tarifas del servicio y falta de personal capacitado, resultando todo

---

<sup>14</sup> El saneamiento básico mejorado considera a los habitantes de las viviendas que tienen sanitarios de uso exclusivo para la vivienda y que su sanitario está conectado a la red de drenaje o a una "fosa séptica" (Programa Nacional Hídrico 2019-2024, p.19)

ello en servicios de agua y saneamiento de mala calidad y falta de cobertura en escuelas, centros de salud, entornos rurales y periferias de las zonas urbanas. Además, existen factores externos que han comenzado a impactar en el abasto del agua, como lo son los efectos del cambio climático y la sobreexplotación de los mantos acuíferos encargados de proveer dicho recurso.

A nivel nacional las necesidades de agua para abastecer a las ciudades se han estado incrementando, se considera que en 20 años la brecha entre la oferta y la demanda será de 23 mil millones de metros cúbicos; el crecimiento poblacional también ejerce presión sobre la demanda de agua, se estima que para 2050 habrá 131 millones de habitantes en México, lo que representará un incremento del 25% con respecto a la población actual, esto obligará a incrementar la producción de alimentos alrededor del 70% lo que requerirá mayores extracciones de agua que equivaldrán al 55% más de lo que se extrae actualmente para ese mismo concepto.

Otro factor a considerar son las variaciones estacionales de agua que pueden ocasionar sequías, las cuales se pueden enfrentar con las provisiones de agua contenidas en los acuíferos, sin embargo, los periodos de sequías han sido más prolongados y, aunados a la explotación excesiva de los acuíferos, se han comenzado a quedar sin reservas.

El cambio climático y los cambios en el uso del suelo son también factores que han comenzado a impactar en la disponibilidad de los recursos hídricos y en las fuentes de abastecimiento de agua en todas las regiones del país. De acuerdo con la CONAGUA, el 24% de los municipios del país presentan vulnerabilidad climática “alta” y “muy alta”, y un factor determinante en esta vulnerabilidad es la condición de pobreza en la que se encuentra la población de dichos municipios.

En lo que respecta a las fuentes de abastecimiento de agua, de los 653 acuíferos que existen en el país 115 se encuentran sobreexplotados, en 69 de las 757 cuencas hidrológicas el caudal concesionado o asignado es mayor al agua renovable ocasionando déficit de agua, las aguas superficiales se encuentran contaminadas por descargas de aguas residuales, municipales, industriales sin tratamiento y agroquímicos.

El 30% de las aguas residuales municipales que se colectan en los drenajes no reciben ningún tipo de tratamiento, y del volumen total de agua tratada sólo el 32% es

reutilizada. En las aguas residuales no municipales como las industriales, agrícolas, lixiviados de rellenos sanitarios, entre otros, no reciben el tratamiento adecuado, en 2018 existían 819 plantas tratadoras de agua abandonadas en todo el país que representan el 24% del total a nivel nacional, además, los sistemas de recolección de las aguas residuales son insuficientes o están deteriorados.

La prestación de servicios públicos es un componente básico en la operación y funcionalidad de las ciudades y centros urbanos, las actividades económicas y el desarrollo de la vida en ellas está condicionada al acceso y disponibilidad de estos servicios. El agua es uno de los servicios públicos de mayor impacto para la actividad económica, es, además, un derecho básico para la vida<sup>15</sup> y un factor determinante en la calidad de vida de la población (Zegarra, 2014). Por ello la eficiencia en la prestación de este servicio es una condición para el pleno funcionamiento de las ciudades.

De acuerdo con Moreno (1998) y Domínguez (2010) en las zonas metropolitanas persisten problemáticas en la calidad de los servicios públicos, incapacidad administrativa y de operación por parte de los municipios, y falta de participación de la población en la gestión y pago de los servicios. Hernández y Maldonado (2013) destacan que, además de la cobertura, hay problemas relacionados con la gestión del servicio en donde intervienen instituciones públicas, administradores y población usuaria.

Una referencia sobre la mejora en la prestación de servicios públicos es alcanzar la condición de eficiencia, de tal suerte que, servicios públicos más eficientes deberían responder mejor a las necesidades propias de una ciudad o centro urbano dado, estas necesidades son distintas y corresponden a la dinámica de crecimiento, transformación y funcionalidad urbana de cada ciudad, por lo que la medida de eficiencia puede considerar elementos distintos según el espacio urbano del que se trate.

La medida de eficiencia en los servicios públicos no puede adecuarse al ideal de cada habitante, sino que existe una propuesta base, casi siempre fundamentada en elementos de tipo normativo, para cumplir con los estándares esperados en la prestación de este tipo de servicios.

---

<sup>15</sup> El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos (ONU, 2018)

Medir la eficiencia en el abasto de los servicios públicos permite contar con una serie de parámetros de referencia para la mejora y atención de problemáticas relacionados con ellos, Ferro, Lentini y Romero (2011) destacan que el enfoque económico ha prevalecido en la medición y evaluación de la eficiencia en las empresas y organismos prestadores de servicios públicos, sobre todo en aquellos encargados de proveer el servicio de agua y alcantarillado, en esta investigación se busca construir un Índice de Eficiencia General cuya base es la información del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores.

### **3.4. Marco Teórico**

Con base al objetivo de esta investigación, el marco teórico se integra del modelo de eficiencia de la CONAGUA y los elementos del Análisis Factorial Exploratorio:

#### **3.4.1 El Modelo de Eficiencia de CONAGUA**

De acuerdo con el Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2012), la eficiencia total de la calidad del servicio de agua potable es el resultado de diversos componentes:

- Ingeniería de producción y distribución. Donde se busca la eficiencia física, hidráulica energética y de calidad del agua.
- Comercialización del servicio. Donde se busca la eficiencia en facturación, cobranza, contabilidad, padrón de usuarios, estimación de consumos, tarifas, control de suministros, comunicación y transporte y comunicación social.
- Desarrollo institucional. Donde se debe alcanzar la eficiencia en la autonomía organizada, liderazgo, administración de personal, orientación financiera, orientación al consumidor, capacidad técnica, formación de personal e interacción con instituciones externas

##### **3.4.1.1 La eficiencia en el escenario de ingeniería de producción y distribución**

Para la estimación de la eficiencia, en este escenario, la CONAGUA sugiere un análisis a detalle de toda la información referente a la ingeniería e infraestructura empleada por el organismo operador.

Para la construcción del modelo de eficiencia técnica se diseñan elementos de eliminación y control de fugas, enmarcados en un programa estratégico de acciones

para incrementar la eficiencia en el funcionamiento del sistema de agua potable. Este modelo debe contemplar:

- La elaboración del diagnóstico del nivel de fugas actual
- Identificación de causas que originan el estado actual de fugas
- Diseñar medidas preventivas y facilitadoras de reducción y control de fugas
- Definir las acciones para la eliminación intensiva de fugas y alcanzar un nivel aceptable
- Diseñar el programa permanente de control de fugas para mantener un nivel aceptable
- Estimar los costos, realizar la calendarización y diseñar los esquemas de financiamiento

La eficiencia hidráulica “es la relación entre la capacidad de captación, conducción y distribución del agua con la que cuenta un sistema hidráulico de abastecimiento urbano, y la capacidad real con la que funciona dicho sistema” (CONAGUA, 2012, p.64), aunque no existe un indicador específico que permita valorar esta eficiencia, la CONAGUA sugiere parámetros de disponibilidad espacial y temporal del agua a los usuarios como:

- Consumo unitario de los usuarios (l/h/día)
- Dotación (l/h/día)
- Continuidad del servicio de agua (horas/día)
- Déficit entre el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios (+-%)
- Presión media del agua en la red de distribución ( $\text{kg/cm}^2$ )

La eficiencia energética se determina mediante técnicas que miden el uso de la energía en el sistema de agua potable y especifican cuánta de esa energía es desperdiciada, los elementos para el suministro y transformación energética necesarios para la producción, suministro y tratamiento de agua, van desde el medidor de consumo del suministrador de energía, el transformador del centro de control de motor, el motor eléctrico, la bomba y la disposición final del agua potable y residual.

La calidad del agua es resultado de la demanda, para el caso de las aguas subterráneas, de las aguas usadas como las municipales, industriales, agrícolas, pecuarias, entre otras, de su recolección, de la eficiencia de su tratamiento y de la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua en que se descarguen. Las

valoraciones que se toman en cuenta en la calidad del agua son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (SDT).

#### **3.4.1.2. La eficiencia en el escenario de comercialización del producto**

Los organismos operadores de agua potable y saneamiento se integran básicamente de cinco sistemas: operacional, comercial, de planificación, financiero y administrativo, y cada uno de estos sistemas cuenta con un sistema propio de información, o bien, se puede contar con un Sistema de Información de todo el organismo operador. Cada uno de dichos sistemas contribuye al fortalecimiento de las funciones y cumplimiento de metas que garantiza un servicio de calidad en el abasto del recurso del agua.

#### **3.4.1.3. La eficiencia en el escenario del Desarrollo Institucional**

De acuerdo con la CONAGUA (2009) y el Instituto Mexicano del Agua (IMTA) (2017), en este escenario se requiere del fortalecimiento de las eficiencias en la autonomía organizativa, el liderazgo del personal directivo, la administración de personal, la orientación financiera, los esquemas orientados hacia el consumidor, la capacidad técnica del personal, la capacitación del personal y la interacción con instituciones externas. Por lo que las eficiencias de este escenario requieren de acciones conjuntas entre los organismos y las instancias rectoras del sector como la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y CONAGUA.

La eficiencia de carácter institucional refiere a un ecosistema óptimo para el pleno desarrollo y fortalecimiento de los organismos operadores en aspectos de índole estratégico y ejecutivo, por lo que la propuesta de CONAGUA (2012) es fortalecer la autonomía y sustentabilidad financiera de los organismos, la capacidad técnica, la planificación de la eficiencia y la calidad del servicio.

### Sistemas básicos de un organismo operador:

Planificación	Operacional	Comercial	Financiero	Administrativo y de apoyo
Realiza el diagnóstico para la cuantificación de la problemática, situación actual, cobertura, establecer metas, etc. Debe formular los planes de la institución para análisis de alta gerencia, realizar la planificación estratégica, táctica y operacional y establecer un sistema de información para control gerencial y estructurar los subsistemas de planificación física, organizacional, económico-financiera y de programación y control.	Corresponde con los recursos y actividades necesarios para administrar la elaboración de proyectos y la construcción de obras, así como para operar los sistemas de agua y de alcantarillado y mantener las instalaciones y equipos utilizados en los sistemas. Funciona a través de sus tres subsistemas: Gerencia de proyectos y obras, operación y mantenimiento	Se encarga de la promoción y venta de los servicios y de la recuperación de costos que a su vez permita alcanzar la autosuficiencia financiera del organismo. Busca promover la expansión y el mantenimiento del mercado consumidor, registrar los consumidores y establecer una cuenta para cada uno de ellos.	Es el conjunto de políticas y normas establecidas por la institución para la realización de sus operaciones financieras, además incluye los procedimientos y métodos para registrar y evaluar la gestión financiera e informar los resultados. Lo integran los subsistemas de: Administración de recursos financieros y Contabilidad.	Se integra por los sistemas de: Administración y Desarrollo de Recursos Humanos, Administración de Suministros, Administración de Patrimonio, Administración de Transportes y el sistema de Comunicación Social.

Tabla 16 Sistemas básicos de un Organismo Operador

Fuente: Con información del Instituto Mexicano del Agua IMTA, 2017. Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable: Organización y funcionamiento para una mejor calidad del servicio. p.30

### 3.4.2. El Modelo de Análisis Factorial Exploratorio

El Análisis Factorial Exploratorio es “un conjunto de métodos, estadísticos multivariados de interdependencia cuyo propósito principal es identificar una estructura de factores subyacentes a un conjunto amplio de datos” (Pérez y Medrano, 2009, p. 58). Esta técnica permite reducir la dimensión de la información para encontrar Factores representativos que permitan el análisis del fenómeno de estudio y tiene la ventaja de conservar la mayor variabilidad de la información original.

En el análisis de las eficiencias se utilizó una base de datos de 5,729 observaciones que representan los resultados de las cinco eficiencias en 387 organismos que proporcionaron información en el periodo de 2012 a 2018 en el Programa de Gestión de Organismos Operadores de Agua (PIGOO).

En el modelo factorial las variables  $X_1, X_2, \dots, X_p$  son las  $p$  variables objeto de análisis que viene dado por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}F_1 + a_{12} F_2 + \dots + a_{1k} F_k + u_1 \\ X_2 &= a_{21}F_1 + a_{22} F_2 + \dots + a_{2k} F_k + u_2 \\ X_p &= a_{p1}F_1 + a_{p2} F_2 + \dots + a_{pk} F_k + u_p \end{aligned} \quad (12)$$

Donde,  $F_1, F_2, \dots, F_k$  ( $k < p$ ) son los Factores Comunes,  $u_1, u_2, \dots, u_p$  son los Factores Únicos o específicos y los Coeficientes  $(a_{ij})$   $\{i=1, \dots, p; j=1, \dots, k\}$  las Cargas Factoriales. Y se mantienen los siguientes supuestos:

- Los Factores Comunes están estandarizados [ $E(F_i)=0$ ;  $Var(F_i)=1$ ]
- Los Factores específicos tienen media = 0 y no están correlacionados de forma que [ $E(u_i)=0$ ;  $Cov(u_i, u_j)=0$  si  $i \neq j$ ; ( $i, j=1, \dots, p$ )] y que ambos tipos de factores están incorrelacionados  $Cov(F, u)=0, \forall i=1, \dots, k; j=1, \dots, p$ .

En forma matricial:

$$x = Af + u \Leftrightarrow X = FA' + U \quad (13)$$

$$\text{donde } x = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{pmatrix}, f = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_k \end{pmatrix}, u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_p \end{pmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pk} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1k} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{p1} & f_{p2} & \dots & f_{pk} \end{bmatrix} \quad (15)$$

- $X \equiv$  matriz de datos
- $A \equiv$  matriz de cargas factoriales
- $F \equiv$  matriz de puntuaciones factoriales

Con esto se tiene también:

$$Var(X_i) = \sum_{j=1}^k a_{ij}^2 + \Psi_i = h_i^2 + \Psi_i. \quad (i=1, 2, \dots, p) \quad (16)$$

Donde  $h_i^2 = Var \left[ \sum_{j=1}^k a_{ij} F_j \right]$  es la Comunalidad y  $\Psi_i = Var(u_i)$  es la Especificidad de la variable  $X_i$ .

Por tanto, la varianza de cada una de las variables analizadas se puede descomponer en dos partes: la Comunalidad  $h_i^2$  que representa la varianza explicada por los factores comunes y la Especificidad  $\Psi_i$  que representan la parte de la varianza específica de cada variable y además se tiene:

$$Cov(X_i, X_j) = Cov \left( \sum_{j=1}^k a_{ij} F_j, \sum_{j=1}^k a_{ij} F_j \right) = \sum_{j=1}^k a_{ij} a_{ij} \quad \forall i \neq j \quad (17)$$

Así, son los factores comunes los que explican las relaciones existentes entre las variables. En el modelo de análisis factorial planteado en la investigación las variables de estudio agrupan a su vez otras variables que miden aspectos específicos en el desempeño de los organismos operadores de agua:

- $X_1$  = Eficiencia Física 1

$$E_{FIS1} = \frac{V_{CON}}{V_{APP}} * 100 \quad (18)$$

Donde:

- $V_{CON}$ : Volumen de agua consumido ( $m^3$ )
- $V_{APP}$ : Volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ )

- $X_2$  = Eficiencia Física 2

$$E_{FIS2} = \frac{V_{AF}}{V_{APP}} * 100 \quad (19)$$

Donde:

- $V_{AF}$ : Volumen de agua facturado ( $m^3$ )
- $V_{APP}$ : Volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ )

- $X_3$  = Eficiencia Comercial

$$E_{COM} = \frac{V_{AP}}{V_{AF}} * 100 \quad (20)$$

Donde:

- $V_{AP}$ : Volumen de agua pagado ( $m^3$ )
- $V_{AF}$ : Volumen de agua facturado ( $m^3$ )

- $X_4$  = Eficiencia de Cobro

$$E_{COB} = \frac{P_{VEN}}{P_{FAC}} * 100 \quad (21)$$

Donde:

- $P_{VEN}$ : Ingreso por venta de agua (\$)
- $P_{FAC}$ : Dinero facturado por venta de agua (\$)

- $X_5$  = Eficiencia Global

$$E_{global} = E_{FIS2} * E_{COM} \quad (22)$$

Donde:

- $E_{FIS}$ : Eficiencia física 2
- $E_{COM}$ : Eficiencia comercial

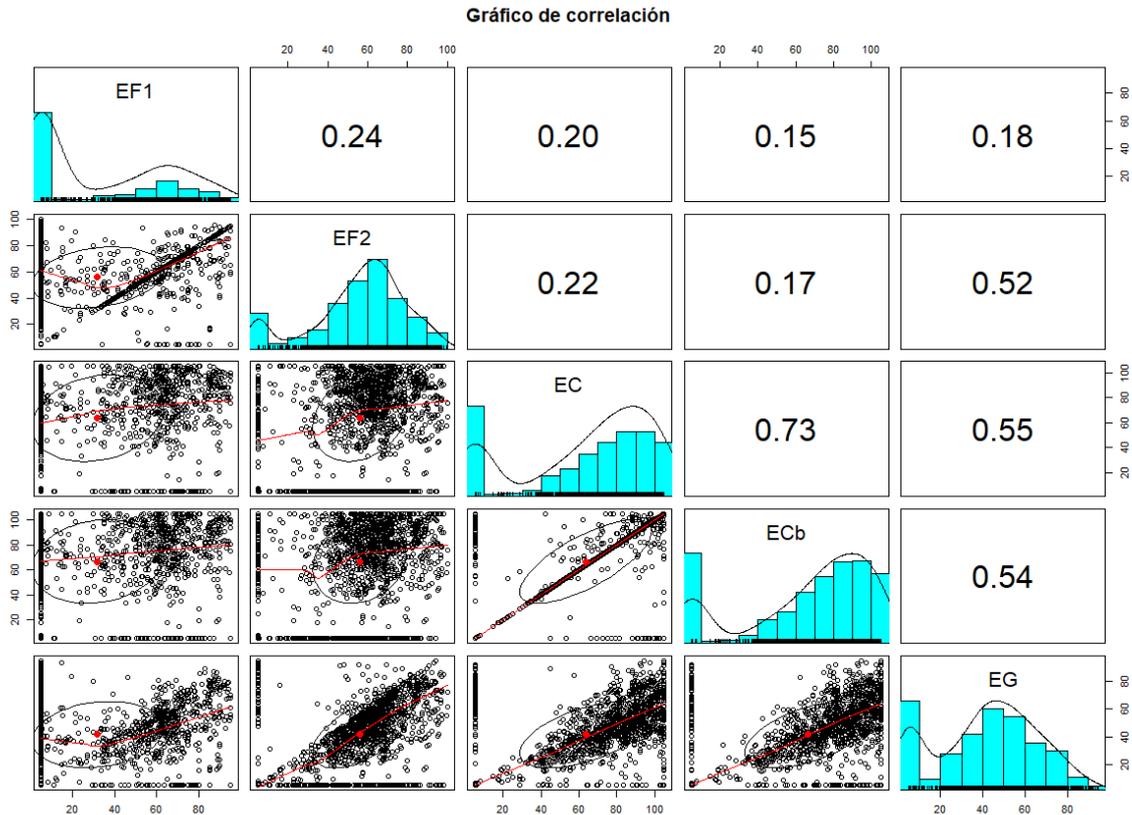
#### **3.4.2.1. Análisis de la Matriz de Correlación**

Para determinar si el Análisis Factorial es viable se realiza el análisis de la matriz de correlación que busca comprobar si las características de las variables son adecuadas o no.

El primer requisito a cumplir es que las variables se encuentren intercorrelacionadas y se espera que las variables que tienen correlación muy alta entre sí también la tengan

con el mismo Factor o Factores. Por tanto, si existen correlaciones bajas no es conveniente realizar un análisis factorial. En el análisis de las eficiencias de los organismos operadores de agua encontramos variables asimétricas y altamente correlacionadas:

Matriz de correlación de las eficiencias de los organismos operadores de agua:



**Figura 5** Matriz de correlación de variables  
**Fuente.** Elaboración personal

Para analizar la matriz de correlación se puede realizar una inspección visual de la matriz de correlación esperando encontrar correlaciones mayores a 0.30 o bien emplear alguna técnica como el Test de esfericidad de Barlett, que contrasta, bajo la hipótesis de normalidad multivariante, si la matriz de correlación de las  $p$  variables observadas ( $R_p$ ) es la identidad. Si una matriz de correlación es la identidad significa que las intercorrelaciones entre las variables son cero. Si se confirma la hipótesis nula  $H_0 |R_p| = 1$  o  $R_p = I$ , las variables no están intercorrelacionadas.

### 3.4.2.2 Extracción e interpretación de Factores

Cuando ya se ha determinado que el Análisis Factorial es viable para el análisis de la información, entonces se selecciona el método adecuado para la extracción de factores:

- El modelo factorial en forma matricial:  $X=FA'+U$ , donde se tiene que cuantificar la matriz A de cargas factoriales que explica X en función de los factores. Partiendo de  $X=FA'+U$ , se deduce la Identidad Fundamental del Análisis Factorial:

$$R_p = AA' + \Psi \quad (23)$$

Donde:

- $R_p$  es la matriz de correlación poblacional de las variables  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$ .
- $\Psi = \text{Diag}(\Psi_i)$  es la matriz diagonal de las especificidades.

La extracción de Factores Comunes se puede realizar mediante varios métodos:

- El método de Componentes Principales. Consiste en estimar las puntuaciones factoriales mediante las puntuaciones tipificadas de las primeras k-componentes y la matriz de cargas factoriales mediante las correlaciones de las variables originales con dichas componentes. (De la Fuente, 2011, p. 12).
- Método de Ejes Principales. Se basa en la identidad fundamental del Análisis Factorial  $R_p = AA' + \Psi$ , sustituyendo la matriz de las correlaciones poblacionales  $R_p$  por las correlaciones muestrales  $R$ , con lo que:

$$R' = R \Psi' = AA' \quad (24)$$

Si  $R' = R \Psi' = AA'$ , el método es iterativo y consiste en alternar una estimación de la matriz de las especificidades  $\Psi$  con una estimación de la matriz de las cargas factoriales A (De la Fuente, 2011, p. 12).

Se inicia de una estimación inicial de la matriz  $\Psi$ ,  $\Psi^{(0)}$  y en el paso i-ésimo del algoritmo se verifica que  $R \Psi^{(i)} = A^{(i)} A^{(i)'}$

La estimación  $A^{(i)}$  se obtiene aplicando el método de componentes principales a la matriz  $R - \Psi^{(i-1)}$ . Posteriormente, se calcula  $\Psi^{(i)}$  a partir de la igualdad  $R$

$\Psi^{(i)} = A^{(i)} A^{(i)'}$  y se itera hasta que los valores de dichas estimaciones apenas cambien. (De la Fuente, 2011, p. 12).

- Método de Máxima Verosimilitud. Se basa en el modelo  $x = Af + u \Leftrightarrow X = FA' + U$ , adoptando la hipótesis de normalidad multivariante, aplica el método de la máxima verosimilitud. Este método tiene la ventaja de que las estimaciones obtenidas no dependen de la escala de medida de las variables, al estar basado en el método de máxima verosimilitud tiene todas las propiedades estadísticas de este y es asintóticamente insesgada, eficiente y normal si las hipótesis del modelo factorial son ciertas y permite seleccionar el número de factores mediante contrastes de hipótesis (De la Fuente, 2011, p. 12).
- Método de Mínimos Cuadrados no ponderados. Para un número fijo de factores, genera una matriz de coeficientes que minimiza la suma de las diferencias al cuadrado entre las matrices de correlación observada  $R$  y reproducida  $\tilde{R} = \tilde{A} \tilde{A}'$  eliminando en las diferencias los elementos de la diagonal (De la Fuente, 2011, p. 12).
- Método de Mínimos Cuadrados Generalizados. Minimiza el mismo criterio, la suma de las diferencias al cuadrado entre las matrices de correlación observada  $R$  y reproducida  $\tilde{R} = \tilde{A} \tilde{A}'$  ponderando las correlaciones inversamente por la varianza del factor específico (De la Fuente, 2011, p. 12).
- Método de Factorización por imágenes. Consiste en aplicar el método de componentes principales a la matriz de correlaciones  $\tilde{R}$  obtenida a partir de las partes predichas de las diversas regresiones lineales de cada una de las variables sobre las demás (dicha parte recibe el nombre de imagen de la variable) (De la Fuente, 2011, p. 12).
- Método Alfa, que consiste en maximizar el alfa de Cronbach para los factores.

En el modelo de la investigación la determinación de los Factores permite identificar las variables de mayor carga en cada uno de ellos, para el Factor 1 las variables  $X_3$ , y  $X_4$  y para el Factor 2 la carga se concentra en la variable  $X_2$ :

	<b>Factor1</b>	<b>Factor2</b>
<b>X<sub>1</sub></b>	0.161	0.230
<b>X<sub>2</sub></b>		0.996
<b>X<sub>3</sub></b>	0.839	0.177
<b>X<sub>4</sub></b>	0.843	0.130
<b>X<sub>5</sub></b>	0.554	0.501

	<b>Factor1</b>	<b>Factor2</b>
<b>SS loadings</b>	1.75	1.345
<b>Proportion Var</b>	0.35	0.269
<b>Cumulative Var</b>	0.35	0.619

**Tabla 1.** Resultados del modelo factorial  
**Fuente.** Elaboración personal

### **3.4.2.3 Determinación del número de Factores.**

Para determinar el número de Factores se puede aplicar alguno de los siguientes criterios:

- Determinación “a priori”, se puede aplicar cuando los datos están bien elegidos y el investigador conoce lo suficiente y es viable plantear el Análisis Factorial con una idea previa de cuántos factores hay. (De la Fuente, 2011, p. 13)
- Regla de Kaiser. Se calculan los valores propios de la matriz de correlaciones R y toma como número de Factores el número de valores propios superiores a la unidad.
- Criterio del porcentaje de la varianza. Consiste en tomar como número de Factores el número mínimo necesario para que el porcentaje acumulado de la varianza explicado alcance un nivel satisfactorio entre 75% y 80% (De la Fuente, 2011, p. 13).
- Criterio de Sedimentación. Consiste en la representación gráfica donde los Factores están en el eje de las abscisas y los valores propios en el de ordenadas. Con Factores con varianzas altas suelen diferenciarse de los Factores con varianzas bajas y se pueden conservar los Factores situados antes del punto de inflexión. (De la Fuente, 2011, p. 13)

- Criterio de división a la mitad. La muestra se divide en dos partes iguales tomadas al azar y se realiza el Análisis Factorial en cada una de ellas. Solo se conservarán los Factores que tienen alta correspondencia de cargas de Factores en las dos muestras. (De la Fuente, 2011, p. 14).

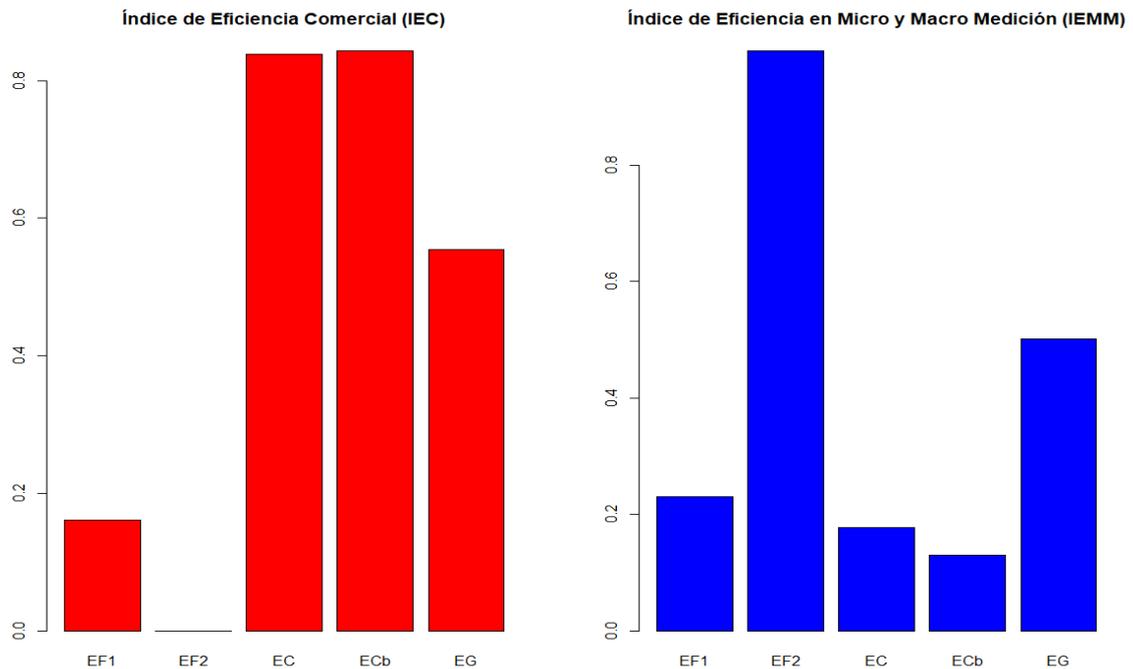
En la investigación, con un nivel de confianza al 0.95 y con nivel de significancia al 0.05, el presente modelo conserva el 61.9% de la variabilidad de los datos, es decir, la siguiente expresión algebraica explica en un 61.9% el comportamiento de la dinámica de las eficiencias en los organismos operadores del agua:

$$E(IEG) = IEC + IEMM \quad ( 25 )$$

En el Factor 1 son las variables EC (Eficiencia comercial) y ECb (Eficiencia de Cobro) las que representan mayor carga, por lo que el Factor ha sido nombrado como Índice de Eficiencia Comercial, a su vez, en el Factor 2 es la variable EF2 (Eficiencia Física 2) la que presenta la mayor carga por lo que ha sido denominado Índice de Eficiencia en Micro y Macromedición.

En el análisis de los resultados del modelo, se observa que el Factor 1 concentra el 35% de la variabilidad de los datos, mientras que en el Factor 2 se concentra el 26.9%, esto evidencia que la eficiencia de comercial y la eficiencia de cobro tienen un peso mayor en la eficiencia de los organismos, de modo que, a medida que se incremente la eficiencia comercial y la eficiencia de cobro se alcanzarán mayores niveles de eficiencia general en dichos organismos.

Con base en lo anterior, la interpretación de sus factores es la siguiente:



**Figura 6** Determinación de los Factores  
**Fuente.** Elaboración personal

En la investigación los resultados obtenidos demuestran una carga factorial significativa por lo que no es necesario realizar una rotación de Factores.

#### 3.4.2.4 Validación del Modelo Factorial

La Validación del modelo se realizó a través de pruebas de normalidad, de no correlación entre los factores y de varianzas y covarianzas llegando a los siguientes resultados que demuestran la validez del mismo:

a. Pruebas de normalidad de los factores:

	Factor1	Factor2
<b>Min. :</b>	-2-2555	Min. : -2-2448
<b>1st Qu.:</b>	-0.4953	1st Qu.: -0.4477
<b>Median :</b>	0.2188	Median : 0.1766
<b>Mean :</b>	0.0000	Mean : 0.0000
<b>3rd Qu. :</b>	0.7202	3rd Qu. : 0.6336
<b>Max. :</b>	1.7048	Max. : 1.9076

b. Prueba de nocorrelación entre los factores

	Factor1	Factor2
Factor1	1.0000	0.0087
Factor2	0.0087	1.0000

c. Prueba de varianzas y covarianzas



**Figura 7** Gráfico de Varianzas y Covarianzas  
**Fuente:** Elaborado con RStudio

Los resultados para el modelo cumplen con los supuestos de validación: cuenta con un valor esperado igual a cero, varianza igual 1, covarianza y correlación igual a cero

Los Factores identificados para el modelo fueron nombrados y se definió el Índice General de Eficiencia como:

Factor 1 = Índice de Eficiencia de Cobro (IEC)

Factor 2 = Índice de Eficiencia de Macro y Micro Medición (IEMM)

$$E(\text{IGE}) = \text{IEC} + \text{IEMM} \quad (26)$$

El Índice General de Eficiencia es el resultado de la eficiencia de cobro y de la eficiencia en la macro y micro medición de los servicios de abasto del agua.

El Índice de Eficiencia de Cobro es un indicador compuesto que agrupa los aspectos técnicos, de gestión y administrativos, que son relevantes en el cumplimiento de la eficiencia de cobro y comercial en los organismos operadores de agua, en este sentido, y de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2012) los componentes relevantes para la mejora en la eficiencia de aspectos técnicos, de infraestructura y comercial en los organismos operadores contemplan lo siguiente:

- La cobertura de la red y el servicio, identificando las zonas reales de atención y las potenciales que contemplan el crecimiento urbano y demográfico en el territorio de su competencia.
- Los aspectos técnicos relacionados con los volúmenes del recurso suministrados al sistema de abasto, la captación de agua y los flujos de extracción que contribuyen a la incorporación de sistemas de macro medición cada vez más eficientes. En este conjunto de elementos también se contempla el registro, seguimiento y atención a las fugas del sistema de abasto, el mantenimiento y actualización de la red de infraestructura de abasto y el consumo de energía empleado en la prestación del servicio.
- Los aspectos relacionados con la facturación y el cobro del recurso. El monitoreo de los consumos y la implementación de sistemas de facturación y cobro son también considerados en este conjunto de elementos. Además, contempla los sistemas empleados para el registro de consumos de acuerdo a cada tipo de usuario, la tecnología y los recursos humanos empleados como parte de los procesos de registro de los consumos.

El modelo de eficiencia de la Comisión Nacional del Agua hace énfasis en la prevención, control y seguimiento en la atención de fugas además de incluir aspectos hidráulicos enfocados en el seguimiento puntual a los parámetros de disponibilidad espacial y temporal del agua<sup>16</sup> a los usuarios como es el consumo por tipo de usuario, la dotación de recurso por día, caudal provisto y presión del agua en la distribución. Y en la eficiencia energética se mide el uso de la energía en el sistema de agua potable y especifican cuánta de esa energía es desperdiciada, los elementos para el suministro y transformación energética necesarios para la producción, suministro y tratamiento de agua, van desde el medidor de consumo del suministrador de energía, el transformador del centro de control de motor, el motor eléctrico, la bomba y la disposición final del agua potable y residual.

En lo que refiere al segundo Factor, las variables a fortalecer en los organismos operadores son la micromedición y la macromedición. Por un lado, la macromedición se centra en los registros y seguimiento de los volúmenes de extracción y suministro del recurso, por tanto, la mejora de este componente involucra aspectos de la

---

<sup>16</sup> Comisión Nacional del Agua CONAGUA, Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable ...64

infraestructura y de la tecnología empleada en la producción y distribución del agua. Por otro lado, la micromedición es el “conjunto de acciones que permite conocer sistemáticamente el volumen de agua consumido por los usuarios, lo que garantiza que el consumo se realice dentro de los patrones establecidos y que la cobranza sea justa y equitativa por los servicios prestados”<sup>17</sup>. De acuerdo con el Instituto Mexicano del Agua (2017), la micromedición y es uno de los factores más importantes para lograr la eficiencia total en la calidad de los servicios de agua potable en el escenario de la comercialización del producto.

Las cuotas que se cobran a los consumidores influyen en su comportamiento como usuarios del recurso, si se cobra una cuota fija el usuario tiene derecho a utilizar toda el agua que desee, y si cambia el consumidor no cambiará sus hábitos y fomentará el desperdicio, ya que el consumidor no tiene incentivo para mantener en buen estado el sistema de distribución en su domicilio, por tanto, la medición de consumos permite conocer la demanda de los diferentes tipos de usuarios, lo que proporciona parámetros realistas que son necesarios para la elaboración de proyectos de expansión. Sin la medición no puede haber un control efectivo de la producción, de la distribución y del consumo de agua<sup>18</sup>

Con la medición de consumos y la aplicación de un sistema tarifario adecuado se induce al usuario a reducir consumos y desperdicios, con lo cual se generan beneficios técnicos, financieros, sociales y económicos<sup>19</sup>, por tanto, el consumo de agua debe cobrarse con base en el consumo medido.

El modelo de eficiencia de la Comisión Nacional del Agua, comprende los siguientes aspectos a considerar en la micromedición:

- a. Instalación de medidores en tomas de cuota fija
- b. Instalación de medidores en las tomas nuevas
- c. Sustitución de medidores deteriorados
- d. Sustitución de medidores por antigüedad

---

<sup>17</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable: organización y funcionamiento para mejorar la calidad del servicio, México, 2017, 113.

<sup>18</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable... 165, 171.

<sup>19</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable... 203

- e. Realizar lecturas exactas, para lo que se requiere personal capacitado y certificado
- f. Mantener actualizada el área de micromedición.

## Conclusiones

El análisis factorial es una técnica de estadística multivariada que permite conocer los factores de mayor relevancia en variables que no proporcionan información de manera directa, y ha permitido realizar el análisis de las cinco eficiencias contempladas en la valoración del desempeño de los organismos operadores del agua en México para la construcción de un Índice General de Eficiencia.

El modelo de análisis factorial obtenido conserva el 61.9% de la variabilidad de los datos, con un nivel de confianza al 0.95 y con nivel de significancia al 0.05, con ello se logra explicar la dinámica de las eficiencias en los organismos operadores de agua en un 61.9% a través de la siguiente expresión algebraica que representa el Índice de Eficiencia General.

$$E(\text{IEG}) = \text{IEC} + \text{IEMM}$$

El Índice de Eficiencia General, es el resultado de dos componentes complejos que agrupan variables administrativas, técnicas y de gestión en los organismos operadores de agua:

- a. En el Factor 1 (Índice de Eficiencia de Cobro) las variables significativas son la Eficiencia Comercial y la Eficiencia de Cobro, contemplando los siguientes aspectos:
  1. La cobertura de la red y el servicio
  2. El volumen del recurso captado y suministrado.
  3. La facturación y el cobro del recurso.
  
- b. En el Factor 2 (Índice de Eficiencia en Macro y Micromedición), la variable significativa es la Eficiencia Física 2 que evalúa la relación entre lo facturado y lo producido y que comprende la macro y micro medición del agua, siendo representativos los sistemas empleados en dichas mediciones y los sistemas y procedimientos logísticos, de organización y de recursos humanos para realizar la más eficiente medición de los flujos del recurso del agua que se abastecen y que son efectivamente facturados.

En el Índice de Eficiencia General ambos Factores presentan una relación directamente proporcional, por lo que a medida que los organismos mejoren en los aspectos técnicos, administrativos y de gestión del agua contemplados en la Eficiencia

de Cobro, la Eficiencia Comercial y en la Eficiencia Física 2, lograrán mayores niveles de eficiencia general.

## **Capítulo 4 Modelo de Regresión Gamma**

## Capítulo 4 Modelo de Regresión Gamma

### 4.1 Introducción

La toma de decisiones representa un proceso objetivo, racional y estructurado para la selección entre diversas alternativas, y una herramienta estratégica para la evaluación de dichas alternativas de medición. Dentro de la estadística, los modelos con implicaciones gerenciales son los que permiten la evaluación de las alternativas y contribuyen al proceso de toma de decisiones, uno de esos modelos es el análisis de regresión. En la investigación sobre el desempeño de los Organismos Operadores de Agua se ha revisado la información disponible y con ello se ha construido un Índice de Eficiencia General (IEG) a partir de un modelo de análisis factorial, que ha permitido identificar las variables con mayor peso en la eficiencia de la operación de los Organismos Operadores de Agua y en este Capítulo se construirá un modelo de regresión para la proyección y toma de decisiones que permita mejorar la eficiencia con la que se realiza el abasto del agua en México.

### 4.2 Marco Teórico

La Investigación de Operaciones es una herramienta matemática empleada en la resolución de problemas prácticos y de investigación, su origen se encuentra en el ámbito militar. Durante el periodo de la Segunda Guerra Mundial se aplicó tanto en Estados Unidos como en Gran Bretaña en el desarrollo de estrategias para la guerra (Hengler, Hengler, Goncalves y Pagán, 2018) y su evolución ha contribuido a la toma de decisiones en las organizaciones. De acuerdo con Chiavenato (1989), la Investigación de Operaciones es la “aplicación de métodos científicos, técnicas científicas e instrumentos científicos a problemas que envuelven a un sistema y que proporciona información para la toma de decisiones” (Chiavenato, 1989, p. 222).

La programación lineal y el método Simplex son las primeras herramientas empleadas en la Investigación de operaciones (Chiavenato, 1989) y más recientemente se han incorporado otros instrumentos como los modelos de regresión, los cuales se emplean en el análisis de la relación de variables y debido a que el comportamiento de los fenómenos sociales son muy dinámicos y existen diferentes tipos de métodos, en particular, el abasto del agua, el combate a la pobreza, el desarrollo económico, entre otros, los cuales se integran de variables con comportamientos distintos, y muchas veces complejos por lo que son consideradas variables o magnitudes estocásticas y una medida de la similitud de la variabilidad de dos o más variables (Montero, 2016).

La Correlación entre dos o más variables puede calcularse a través de la regresión, una técnica estadística que calcula la similitud de variabilidad a través de una función matemática, existen diversos modelos de análisis de regresión el más aplicable es la regresión lineal, siempre y cuando cumpla con sus supuestos de inferencia, en caso contrario se recurre a la aplicación de otras herramientas matemáticas y estadísticas, tales como los Modelos Lineales Generalizados (LMG).

#### 4.2.1 La Regresión Lineal Simple

Analiza la relación de una variable dependiente (Y) con respecto a una variable independiente y parte de la función más simple para la relación entre dos variables que es la función lineal: (Orellana, 2008)

$$Y = a + bX \quad (28)$$

Donde;

b= es la pendiente de la recta que mide la razón de cambio que experimenta “Y” ante un cambio en “X”

a= es la ordenada al origen, es decir, el valor de Y cuando X=0

Esta función lineal puede representar un modelo predictivo de tipo determinístico, toda vez que permite predecir el valor de “Y” y supone que bajo condiciones ideales, el modelo predice el valor de la variable independiente, sin errores, pero si además se incorpora un componente aleatorio a través del error de predictivo ( $\varepsilon$ ) se obtiene un modelo de regresión lineal simple de la forma: (Orellana, 2008)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (29)$$

Donde;

$\beta_0$  = Ordenada al origen  
 $X$  = Variable independiente  
 $\beta_1$  = pendiente  
 $\varepsilon$  = error aleatorio

En este modelo de regresión es deseable que los errores aleatorios sean en media cero para cualquier valor de X, de modo que  $E[\varepsilon/X = x] \rightarrow E[\varepsilon] \sim 0$ , y:

$$E[Y/X = x] = \beta_0 + \beta_1 x + E[\varepsilon/X = x] = \beta_0 + \beta_1 x \quad (30)$$

Además del supuesto de los errores aleatorios, el modelo también mantiene los siguientes supuestos:

- a. La varianza de  $\varepsilon$  es constante para cualquier valor de X, también conocido como Homocedasticidad.
- b. Los  $\varepsilon$  deben aproximarse a una distribución normal, con media 0 y varianza 1.
- c. Los errores asociados a Y son independientes unos de otros.

La estimación de los parámetros se realiza a través del método de mínimos cuadrados partiendo de:

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)^2 \quad (31)$$

Derivando SSE con respecto a  $\beta_0$  y  $\beta_1$  e igualando a 0, los estimadores resultan como:

$$\beta_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} \quad (32)$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (33)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (34)$$

La recta resultante  $Y = \beta_0 + \beta_1 X$  es la recta de regresión lineal de Y sobre X (s.a., p. iv)

#### 4.2.2 La Regresión Lineal Múltiple

La regresión múltiple busca ajustar modelos lineales de una variable dependiente y más de una variable independiente, ya que supone que más de una variable tiene influencia o está correlacionada con el valor de una tercera variable. La función de una regresión lineal múltiple es:

$$y_j = b_0 + b_1 x_{1j} + b_2 x_{2j} + \dots + b_k x_{kj} + u_j \quad (35)$$

Donde  $y$  es la variable dependiente, las  $x$ 's son las variables independientes, y los  $u_i$  son los residuales y hacen referencia al margen de error del modelo, y  $b_i$  son los coeficientes estimados del efecto marginal entre cada  $x$  y  $y$ .

Los supuestos de este modelo son:

- a. La varianza de  $\varepsilon$  es constante para cualquier valor de X, también conocido como Homocedasticidad.

- b. Los  $\varepsilon$  deben aproximarse a una distribución normal, con media 0 y varianza 1.
- c. Los errores asociados a Y son independientes unos de otros.
- d. No debe existir Colinealidad entre las variables independientes.

El modelo puede calcularse a través de mínimos cuadrados ordinarios o bien por máxima verosimilitud. El método de mínimos cuadrados ordinarios tiene la ventaja de proporcionar medidas de ajuste confiables, sin embargo, cuando no es posible resolverlo por dicho método se puede emplear máxima verosimilitud. (Montero, 2016, p.11).

En caso de que el modelo no cumpla con los supuestos de inferencia es fundamental utilizar distintas transformaciones sobre la variable dependiente o a su vez en las variables independientes, tal es el caso de las transformaciones BoxCox.

#### **4.2.3 La Transformación Box Cox**

En el análisis de datos, la situación deseable es que puedan describirse en modelos simples donde los supuestos clásicos se cumplen (Estrella, 1986), sin embargo, no siempre es así e intentar ajustar los modelos puede complicarlos, por ello, cuando los supuestos de la Regresión Lineal no llegan a cumplirse puede realizarse un procedimiento adicional de transformación de los datos, Castaño (2011) detalla que existen distintas alternativas:

- a. Ignorar la violación de los supuestos y proceder como si fueran válidos
- b. Analizar cuál es el supuesto adecuado y usar un procedimiento válido que lo tenga en cuenta.
- c. Diseñar un nuevo modelo que tenga las características importantes del modelo original y satisfaga todos los supuestos a través de una transformación.
- d. Usar un procedimiento a distribución libre que se validó aún, cuando varios supuestos no se cumplan. (Castaño, 2011, p. 91)

Entre estas opciones, la más común es la transformación de Box Cox. Estrella (1986) precisa que la transformación Box Cox busca una transformación que satisfaga los supuestos simultáneamente, por ello incluye las transformaciones más comunes que son la raíz cuadrada, el logaritmo, el recíproco, entre otras. (Estrella, 1986, p. 18)

De acuerdo con Castaño (2011), la transformación Box Cox busca estimar el parámetro  $\lambda$  de una transformación potencial sobre una variable dependiente en un modelo de regresión lineal:

$$y_i^{(\lambda)} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji} + \varepsilon_i, \quad (36)$$

Donde;

$$y_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y_i^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \log(y_i) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases} \quad (37)$$

La transformación estimada se puede obtener a través del método de máxima verosimilitud.

Por su parte, Estrella (1986) detalla que el parámetro  $\lambda$  puede ser un vector o un escalar de forma que la propuesta de los autores de la transformación Box Cox son dos:

$$y_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y_i^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \log(y_i) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases} \quad y > 0 \quad (38)$$

$$y_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(y + \lambda_2)^{\lambda_1} - 1}{\lambda_1} & \text{si } \lambda_1 \neq 0 \\ \log(y + \lambda_2) & \text{si } \lambda_1 = 0 \end{cases} \quad y > -\lambda_2 \quad (39)$$

En la transformación pueden utilizarse dos enfoques: máxima verosimilitud o análisis bayesiano.

#### 4.2.4. Los modelos Lineales Generalizados<sup>20</sup>

Son una extensión de los modelos lineales donde la variable dependiente no logra cumplir con el supuesto de seguir una distribución normal y en general no cumple con los supuestos de la regresión lineal, la solución a estos modelos no lineales consiste en “linealizar” a la variable dependiente a través del uso de un “link”.

---

<sup>20</sup> Los modelos lineales generalizados refieren a una variedad de modelos de regresión donde la variable de respuesta  $y_i$  sigue una distribución dentro de la familia de distribuciones exponencial con un promedio  $\mu_i$ , donde se asume una función  $\mu_i = T(\beta)$  que frecuentemente no es lineal. Para linearizar la variable es necesario usar un “link” para convertir la variable dependiente,  $y_i$ . El método para linearizar una variable que no cumple con los supuestos de la regresión lineal fue desarrollado por Nelder y Wedderburn en 1972.

Los diferentes tipos de “link” son empleados de acuerdo al tipo de datos y forma de distribución que presenten los más comunes se detallan en la tabla 1.

#### 4.2.4.1 Supuestos de los Modelos Lineales Generalizados

- La variable dependiente no tiene una distribución normal.
- Los datos sin transformar no tienen una relación lineal.
- Los datos provienen de una distribución de la familia exponencial<sup>21</sup>, por ejemplo, binomial, Poisson, multinomial, normal, normal inversa, etc.
- Los Modelos Lineales Generalizados no asumen una relación lineal entre la variable dependiente y la variable independiente, pero asume una relación lineal de los datos de la variable dependiente transformado y la variable independiente. Por consecuencia se asume una relación lineal entre la variable binaria y la variable explicativa después de usar la transformación con el link,  $\text{logit}(\pi)=\beta_0+\beta_1 \cdot x_i$ .
- No se toma en cuenta el supuesto de igualdad de varianzas (homogeneity of variance)
- Los errores tienen que ser independientes, pero no importa si cumple con una la distribución normal.

Modelo	Distribución variable dependiente	Link	Tipo variable independiente
Regresión lineal	Normal	Identidad	Continua
ANOVA	Normal	Identidad	Catagórica
Regresión logística	Binomial	Logit	Mixta
Regresión Poisson	Poisson	Poisson	Mixta
Gamma		Inversa, identidad, log, raíz cuadrada	
Gaussian Inversa		Inversa, identidad, log, 1/2	

Tabla 17 Modelos Lineales Generalizados. Links

Fuente: Tomado de [https://raymondltremblay.github.io/ANALITICA/TF4\\_GLM.html](https://raymondltremblay.github.io/ANALITICA/TF4_GLM.html)

En la investigación, los datos presentan una distribución con sesgo a la derecha por lo que se ha seleccionado una Regresión Gamma para la construcción del modelo de proyección.

<sup>21</sup> Una variable pertenece a una familia exponencial de k parámetros  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$  si su función de probabilidad o de densidad se puede factorizar de la siguiente manera:

$$f(x;\theta) = A(\theta) B(x) \exp \left[ \sum_{i=1}^k c_i(\theta) D_i(x) \right]$$

Donde la función  $A(\theta)$  es función únicamente de los parámetros, no necesariamente de los k, la función  $B(x)$  es función únicamente de la variable y ambas son no negativas. (Díaz y Flores, 2012, p. 7)

#### 4.2.5 La Regresión Gamma<sup>22</sup>

Esta distribución se utiliza para tomar en cuenta variables que tienen colas muy largas y grandes (Heavy-Tailed distributions). La distribución se usa mucho en el área de econometría y estimados de supervivencia.

La distribución gamma puede ser parametrizado con un término de "shape"  $\alpha=k$  y el inverso de un parámetro de escala (scale)  $\beta=1/\theta$  que se conoce como un parámetro de rate.

$$f(x)=(\beta^\alpha \cdot x^{\alpha-1} e^{-\beta x})\Gamma(\alpha) \text{ para } x>0, \alpha, \beta>0 \quad (40)$$

donde  $\Gamma(\alpha)$  es la función gamma. Para cada valor entero  $\Gamma(\alpha)=(\alpha-1)!$

En otra palabra la distribución gamma es para modelar variables continuas que siempre son positivas y tienen distribuciones sesgadas.

De acuerdo con la investigación de Ciencias Actariales y Financieras (s. a.) es una distribución flexible para modelizar las formas de la asimetría positiva, de las más concentradas y puntiagudas a las más dispersas y achatadas.

##### 4.2.5.1 Metodología

La función de distribución Gamma es

$$f(x)=\frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} * x^{\alpha-1} * e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (41)$$

Donde;  $x>0$  y  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros positivos.

Los estimadores de los parámetros de la distribución, se obtienen a partir del Método de Máxima Verosimilitud, sin embargo, este método conduce a un sistema de ecuaciones que no se puede resolver de forma analítica y, por tanto, se emplea el método numérico, por ejemplo, el Newton-Raphson.

---

<sup>22</sup> La distribución Gamma es adecuada para modelizar variables con mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha. En su expresión se encuentran dos parámetros siempre positivos  $\alpha$  y  $\beta$  de los que depende su forma y alcance a la derecha, y también la función Gamma  $\Gamma(\alpha)$  responsable de la convergencia de la distribución. (Ciencias Actariales y Financieras, s.a. p. 2)

$$-\ln\beta - \frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} + \sum_{i=1}^n \ln x_i = 0 \quad (42)$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n * \beta} \quad (43)$$

En la investigación se ha construido un modelo de regresión Gamma tomando la base de datos original donde se encuentran la información de los resultados de las cinco eficiencias en los Organismos Operadores de Agua que han proporcionado información a través del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua (PIGOO) y se siguieron las siguientes etapas:

1. Cálculo de Parámetros.
2. Validación del Modelo
3. Modelo de Regresión Gamma
4. Validación del Modelo de Regresión

Los supuestos a cumplir para obtener un modelo válido son:

- a. Los residuales de la varianza deben aproximarse a sus grados de libertad.
- b. Las variables independientes no deben estar correlacionadas.
- c. La Devianza debe ser igual

#### 4.3 El Modelo de Regresión para la Eficiencia en el Abasto del Agua

La investigación ha utilizado la información disponible en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua en el periodo de 2012-2018 y que corresponde a las cinco eficiencias<sup>23</sup>:

1. Eficiencia Física 1. Evalúa la eficiencia entre lo consumido y lo producido y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{FIS1} = \frac{V_{CON}}{V_{APP}} * 100 \quad (44)$$

Donde:

$V_{CON}$ : Volumen de agua consumido ( $m^3$ )

$V_{APP}$ : Volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ )

---

<sup>23</sup> La Comisión Nacional del Agua describe el cálculo de las eficiencias en el documento de los Indicadores de Gestión Prioritarios en Organismos Operadores, Subcoordinación Hidráulica Urbana, Coordinación Hidráulica Urbana, México, 2014, 81-90

2. Eficiencia Física 2. Evalúa la eficiencia entre lo facturado y lo producido y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{FIS2} = \frac{V_{AF}}{V_{APP}} * 100 \quad (45)$$

Donde:

$V_{AF}$ : Volumen de agua facturado ( $m^3$ )

$V_{APP}$ : Volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ )

3. Eficiencia Comercial. Evalúa la eficiencia entre la facturación y el pago de la misma y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{COM} = \frac{V_{AP}}{V_{AF}} * 100 \quad (46)$$

Donde:

$V_{AP}$ : Volumen de agua pagado ( $m^3$ )

$V_{AF}$ : Volumen de agua facturado ( $m^3$ )

4. Eficiencia de Cobro. Evalúa la eficiencia de cobro del agua y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$E_{COB} = \frac{P_{VEN}}{P_{FAC}} * 100 \quad (47)$$

Donde:

$P_{VEN}$ : Ingreso por venta de agua (\$)

$P_{FAC}$ : Dinero facturado por venta de agua (\$)

5. Eficiencia Global. Calcula la eficiencia global del sistema de agua potable mediante el siguiente algoritmo:

$$E_{global} = E_{FIS2} * E_{COM} \quad (48)$$

Donde:

$E_{FIS}$ : Eficiencia física 2

$E_{COM}$ : Eficiencia comercial

En la tabla 2 se detalla el número de organismos que proporcionaron información por año y de acuerdo a cada una de las Eficiencias. La base de datos se depuró eliminando aquellos resultados sin información, dado que no todos los organismos proporcionaron información en cada uno de los años de estudio y tampoco lo hicieron

para cada una de las Eficiencias de forma homóloga, con ello la base final para el estudio se conformó de 5,729 observaciones en total. Siendo cada una de las variables observadas  $X$ 's las siguientes:

$X_1$  = Eficiencia Física 1

$X_2$  = Eficiencia Física 2

$X_3$  = Eficiencia Comercial

$X_4$  = Eficiencia de Cobro

$X_5$  = Eficiencia Global

	<b>Física 1 <math>X_1</math></b>	<b>Física 2 <math>X_2</math></b>	<b>Comercial <math>X_3</math></b>	<b>Cobro <math>X_4</math></b>	<b>Global <math>X_5</math></b>
<b>2012</b>	114	182	172	178	173
<b>2013</b>	130	175	173	178	172
<b>2014</b>	126	178	176	187	172
<b>2015</b>	118	211	201	213	211
<b>2016</b>	111	268	194	206	218
<b>2017</b>	66	220	167	165	166
<b>2018</b>	58	126	105	114	107
<b>Totales</b>	723	1360	1188	1241	1219

**Tabla 18** Número total de Organismos Operadores con información por tipo de eficiencias en el PIGOO  
**Fuente:** Elaboración propia con datos del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua (PIGOO).

A partir de la información se realizó un análisis factorial exploratorio que permitió construir un modelo de Eficiencia General:

#### **4.3.1. El modelo de factores<sup>24</sup>**

Utilizando el software denominado Rstudio para realizar el Análisis Factorial y siguiendo los pasos para este tipo de análisis se derivó la Matriz de Correlación:

1. Análisis de la Matriz Correlación:

<sup>24</sup> Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. CENEVAL, Análisis Factorial: una técnica para evaluar la dimensionalidad de las pruebas, Cuaderno Técnico Número 6, Primera edición, Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. México, D.F. 2009

	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>X<sub>4</sub></b>	<b>X<sub>5</sub></b>
<b>X<sub>1</sub></b>	1.00	0.24	0.20	0.15	0.18
<b>X<sub>2</sub></b>	0.24	1.00	0.22	0.17	0.52
<b>X<sub>3</sub></b>	0.20	0.22	1.00	0.73	0.55
<b>X<sub>4</sub></b>	0.15	0.17	0.73	1.00	0.54
<b>X<sub>5</sub></b>	0.18	0.52	0.55	0.54	1.00

La Matriz de Correlación se analiza cuando los datos no se presentan dimensionalmente homogéneos, o bien, se encuentran altamente correlacionados, además de no ser simétricos.

## 2. Calculando los Factores:

Posteriormente se procedió al cálculo de los factores:

	<b>Factor1</b>	<b>Factor2</b>
<b>X<sub>1</sub></b>	0.161	0.230
<b>X<sub>2</sub></b>		0.996
<b>X<sub>3</sub></b>	0.839	0.177
<b>X<sub>4</sub></b>	0.843	0.130
<b>X<sub>5</sub></b>	0.554	0.501

	<b>Factor1</b>	<b>Factor2</b>
<b>SS loadings</b>	1.75	1.345
<b>Proportion Var</b>	0.35	0.269
<b>Cumulative Var</b>	0.35	0.619

Las cargas factoriales indican la correlación entre cada variable y el factor correspondiente; así, una variable con mayor carga factorial será más representativa del factor. Las cargas factoriales sirven para interpretar la función que cumple cada variable para definir cada uno de los factores<sup>25</sup>.

Los resultados del modelo muestran la representatividad de las variables X<sub>3</sub> y X<sub>4</sub> para el Factor 1 y la representatividad de la variable X<sub>2</sub> para el Factor 2.

3. La Validación del Modelo Factorial: Se realizó a través de pruebas de normalidad, de no correlación entre los factores y de varianzas y covarianzas llegando a los siguientes resultados que demuestran la validez del modelo:

<sup>25</sup>Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. CENEVAL, Análisis Factorial: una técnica para evaluar la dimensionalidad de las pruebas... 17-18.

Pruebas de normalidad de los factores

	Factor1		Factor2
<b>Min. :</b>	-2.2555	<b>Min. :</b>	-2.2448
<b>1st Qu.:</b>	-0.4953	<b>1st Qu.:</b>	-0.4477
<b>Median :</b>	0.2188	<b>Median :</b>	0.1766
<b>Mean :</b>	0.0000	<b>Mean :</b>	0.0000
<b>3rd Qu. :</b>	0.7202	<b>3rd Qu. :</b>	0.6336
<b>Max. :</b>	1.7048	<b>Max. :</b>	1.9076

Prueba de nocorrelación entre los factores

	Factor1	Factor2
<b>Factor1</b>	1.0000	0.0087
<b>Factor2</b>	0.0087	1.0000

4. Nombrando los Factores: Se definieron nombres para los Factores.

Factor 1 = Índice de Eficiencia de Cobro (IEC)

Factor 2 = Índice de Eficiencia de Macro y Micro Medición (IEMM)

5. Finalmente y con base en los resultados se construyó el Índice General de Eficiencia:

$$E \text{ (IEG)} = IEC + IEMM \quad (49)$$

El Índice General de Eficiencia es el resultado de la eficiencia de cobro y de la eficiencia en la macro y micro medición de los servicios de abasto del agua. Este Modelo conserva el 61.9% de la variabilidad de los datos.

#### 4.3.2. El Modelo de Regresión

A partir del Índice General de Eficiencia se realiza la construcción del Modelo de Regresión, la decisión de cual, es el modelo que proporcionará el mejor ajuste de los datos se determina con base en una serie de pruebas y corrección de la base de datos siguiendo las siguientes etapas:

1. Cálculo de Parámetros: Partiendo del Modelo de Eficiencia General se ha realizado el cálculo de los parámetros.

$$E \text{ (IEG)} = IEC + IEMM \quad (50)$$

Con la herramienta de R-Studio se obtienen los siguientes resultados:

*R-squared: 0.9056*

*Adjusted R-squared: 0.8916*

*p-value: 1.92e-13*

2. Validación del Modelo.

- Prueba ANOVA

Los resultados de la prueba Anova son:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
X1	1	19572612	19572612	109.4919	5.320e-11
X7	1	12647790	12647790	70.7535	5.052e-09
X8	1	12134	12134	0.0679	0.7964
X10	1	14070820	14070820	78.7141	1.733e-09
Residuals	27	4826482	178759		

**Tabla 19:** Resultados Prueba ANOVA

**Fuente:** Resultados R

- Prueba de Normalidad. Se aplicaron dos pruebas: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Modelo residuals Kolmogorov-Smirnov
D=0.087921, p-value= 0.7646
Shapiro-Wilk Normality Test
W = 0.96878, p-value=0.4666

**Tabla 20:** Resultados Prueba de Normalidad

**Fuente:** Resultados R

- Prueba de Homocedasticidad

Studentized Breusch-Pagan Test
BP=0.53574, df=4, p-value = 0.9699

**Tabla 21:** Resultados Prueba de Homocedasticidad

**Fuente:** Resultados R

- Prueba de Autocorrelación. Durbin-Watson

Durbin Watson Test
DW=2.4425, p-value = 0.9044

**Tabla 22:** Resultados Prueba de Autocorrelación

**Fuente:** Resultados R

- Prueba de Multicolinealidad

Multicolinealidad			
X1	X7	X8	X10
1.500779	11.187692	4.458386	6.056102

**Tabla 23:** Resultados Prueba de Multicolinealidad

**Fuente:** Resultados R

Los resultados obtenidos llevan a realizar la corrección del modelo a través de una prueba BoxCox, sin embargo, transformación Box Cox no fue suficiente para cumplir con los supuestos de la regresión múltiple, con base en ello se procede a buscar otras alternativas de modelamiento recurriendo a los Modelos Lineales Generalizados (MLG), en particular a la Regresión Gamma ya que la variable dependiente es continua y su ajuste está a una Gamma.

#### 4.3.2.1 Modelo de Regresión Gamma

Para la aplicación del modelo de regresión Gamma se utilizaron tres links: identidad, logaritmo e inversa, siendo el de mejor ajuste el de logaritmo:

modg= glm (ef ~ IEC + IEMM, data. frame (Mod), family=Gamma(link=identity)

modg1= glm (ef ~ IEC + IEMM, data. frame (Mod), family=Gamma(link=log)

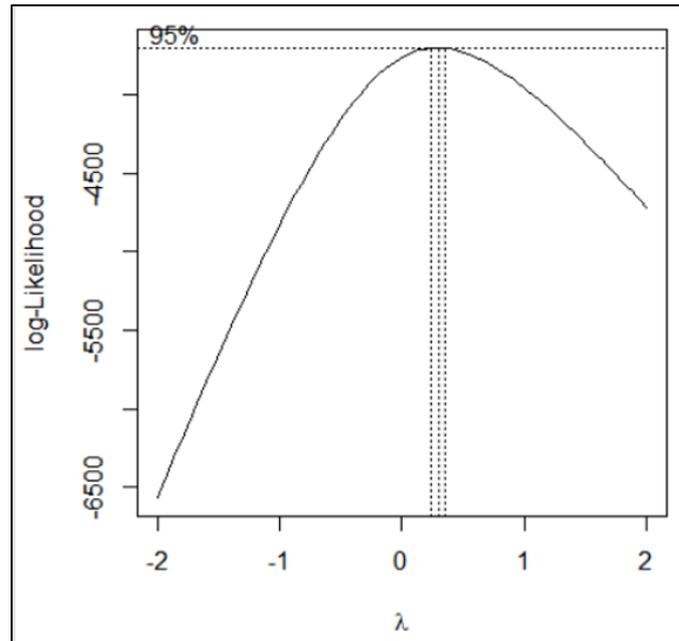
modg2= glm (ef ~ IEC + IEMM, data. frame (Mod), family=Gamma(link=inverse

	<b>Dependet variable:</b>		
	glm: Gamma link = identity	glm: Gamma link = log	glm: Gamma link = inverse
<b>IEC</b>	16.648*** (0.217)	0.585*** (0.009)	-0.013*** (0.0004)
<b>IEMM</b>	6.423*** (0.147)	0.364*** (0.008)	-0.007*** (0.0003)
<b>Constant</b>	41.283*** (0.345)	3.577*** (0.008)	0.030*** (0.0003)
<b>Observations</b>	1,497	1,497	1,497
<b>Log Likelihood</b>	-5,736.098	-5,700.311	-6,102.064
<b>Akaike Inf. Crit.</b>	11,478.200	11,406.620	12,210.130
<b>Note:</b>	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01		

Tabla 24: Links de la Prueba Gamma

Fuente: Resultados R

A través del análisis AIC se determina que el de mejor ajuste es el menor, en este caso logaritmo por lo que se procede a la validación del Modelo.



**Figura 8:** Resultados Link Log  
**Fuente:** Resultados R

Validación del Modelo de Regresión:

La validación de los resultados se ha realizado a través de tres pruebas:

A. Devianza

Los resultados obtenidos son:

Degrees of Freedom:	1496 Total	
Null Deviance:	636.3	
Residual Deviance:	151 AIC: 11410	

**Tabla 25:** Resultados Grados de Libertad  
**Fuente:** Resultados R

Deviance residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.86854	-0.28355	-0.04736	0.19296	0.79615
Devianza	D=636.31-151/636.31			

**Tabla 26:** Resultados Prueba de Devianza  
**Fuente:** Resultados R

En la medida en que se aproxime a 1 es mejor y el resultado obtenido es de 0.7626, el modelo explica el 76% lo que va a ocurrir con el fenómeno.

## B. Colinealidad

Los resultados obtenidos son:

IEC	IEMM
1.000076	1.000076
Pv=1-pchisq(151.1494)	

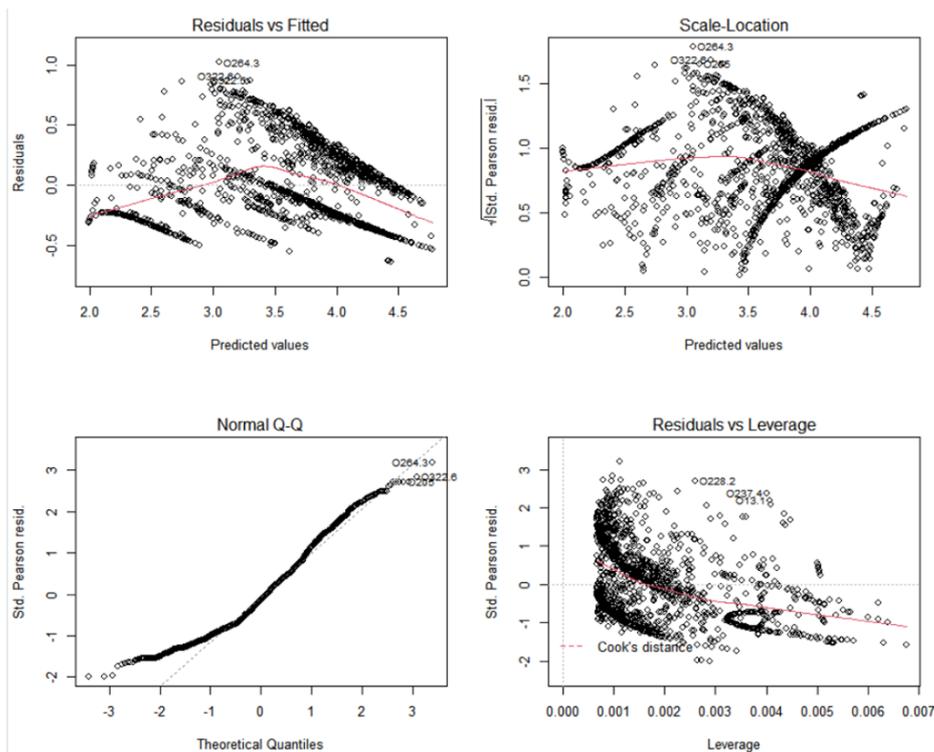
**Tabla 27:** Resultados Prueba de Colinealidad

**Fuente:** Resultados R

No hay Colinealidad, entonces no existe correlación (ya que no rebasa las cinco unidades) entre las variables dependientes.

## C. Aproximación de los residuales a la ji-cuadrada

En esta prueba existen datos atípicos que inciden en la tendencia de la información, sin embargo, no son determinantes para tener un ajuste erróneo ya que el modelo cumple con los supuestos de inferencia.



**Figura 9:** Residuales

**Fuente:** Resultados R

## Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(>  t  )
<b>(Intercept)</b>	3.577212	0.008259	433.13	<2e-16 ***
<b>IEC</b>	0.584839	0.008943	65.39	<2e-16 ***
<b>IEMM</b>	0.364076	0.008285	43.95	<2e-16 ***
<b>Null deviance:</b>	636.31 on 1496 degrees of freedom			
<b>Residual deviance:</b>	151.00 on 1494 degrees of freedom			
<b>AIC:</b>	11407			

**Tabla 28:** Resultados Coeficientes

**Fuente:** Resultados R

$$\text{Devianza} = (636.31 - 151) / 636.31 = 76.26\% \quad (50)$$

$$\text{Ln [E (IEG)]} = 3.5772 + 0.5848\text{IEC} + 0.3641\text{IEMM} \quad (51)$$

$$\text{E (IEG)} = e^{3.5772} * e^{0.5848\text{IEC}} * e^{0.3641\text{IEMM}} \quad (52)$$

$$\text{E (IEG)} = 35.7732 * e^{0.5848\text{IEC} + 0.3641\text{IEMM}} \quad (53)$$

De esta forma, los resultados proporcionan un modelo de Regresión Gamma donde ambos coeficientes guardan una relación directamente proporcional con el Índice de Eficiencia General, de tal forma que al incrementarse la Eficiencia Comercial en un punto porcentual la eficiencia general aumentará en 0.5848% y, además, si la Eficiencia de Micro y Macromedición se incrementa en 1% la eficiencia general aumentará en 0.3641%. y de acuerdo con los resultados del análisis de la Devianza, el modelo explica en 76% la variabilidad de los datos del fenómeno de estudio.

## Conclusiones:

El Análisis Factorial Exploratorio descrito en el Capítulo 3 permitió obtener un Índice de Eficiencia General (IEG) que conserva el 61.9% de la variabilidad de los datos donde existe una relación directamente proporcional entre el nivel de eficiencia general y el nivel de eficiencia de cobro y el nivel de eficiencia en la macro y micro medición de los servicios de abasto del agua.

Posteriormente, se construyó un Modelo de Regresión Gamma y se realizó la propuesta de tres links: identidad, logaritmo e inversa, de los cuales, el link logaritmo presentó el mejor ajuste para los datos, el modelo obtenido explica el 76% de la variabilidad de los datos del fenómeno de estudio.

En dicho Modelo de Regresión Gamma obtenido a través de un link de logaritmo ambos coeficientes guardan una relación directamente proporcional con el Índice de Eficiencia General, de tal forma que al incrementarse la Eficiencia Comercial en un punto porcentual la eficiencia general aumentará en 0.5848% y, si la Eficiencia de Micro y Macromedición se incrementa en 1% la eficiencia general aumentará en 0.3641%.

$$E (IEG) = 35.7732 * e^{0.5848IEC + 0.3641IEMM} \quad ( 54 )$$

## **Recomendaciones en materia de Política Pública**

## Recomendaciones en materia de Política Pública

La política pública, en materia de agua para nuestro país, se encuentra descrita en el Programa Nacional Hídrico 2020-2024, donde se detallan los elementos básicos para su operación. En congruencia con lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, la visión del Programa Nacional Hídrico es:

Un México donde el agua es pilar de bienestar, se realiza el manejo sostenible y coordinado del agua con la participación de la ciudadanía, de instituciones y de órdenes de gobierno. (Programa Nacional Hídrico 2020-2024, p. 24)

Los objetivos planteados para el logro de esta visión son los siguientes:

1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable.
2. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.
3. Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afroamericanos.
4. Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.
5. Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción. (Programa Nacional Hídrico 2020-2024, p. 24)

Y dentro de estos, se plantean estrategias para el logro de los objetivos y la consolidación de la visión, entre ellas se encuentran las que se dirigen al fortalecimiento y mejora de los Organismos Operadores de Agua:

Estrategia 1.2 Abatir el rezago en el acceso al agua potable y al saneamiento para elevar el bienestar en los medios rural y periurbano.

Estrategia 1.3 Fortalecer a los organismos operadores de agua y saneamiento, a fin de asegurar servicios de calidad a la población.

Estrategia 1.4. Atender los requerimientos de infraestructura hidráulica para hacer frente a las necesidades presentes y futuras.

Estrategia 3.3. Desarrollar infraestructura considerando soluciones basadas en la naturaleza para la protección de centros de población y zonas productivas.

Estrategia 5.1 Garantizar el acceso a la información para fortalecer el proceso de planeación y rendición de cuentas.

Estrategia 5.4 Fortalecer las capacidades institucionales para la transformación del sector. (Programa Nacional Hídrico 2020-2024, p. 24)

Las estrategias descritas refieren a aspectos incluidos en los tres escenarios del modelo de eficiencia de la CONAGUA, modelo base para el fortalecimiento integral de los Organismos Operadores de Agua.

Con base en la visión, los objetivos y las estrategias del Plan Nacional Hídrico se articula la política pública a implementar en el país. De acuerdo con la Auditoría Superior de la Federación (2019) la política pública del agua en México se opera con base en tres Ejes:

- La rectoría de la política
- La gestión de los servicios de agua potable y saneamiento
- La protección y restauración de los recursos hídricos

A su vez cada uno de los Ejes contempla los siguientes componentes:

La rectoría de la política se integra de la planeación, regulación y supervisión, coordinación, financiamiento, evaluación y rendición de cuentas, y el funcionamiento de los organismos operadores.

La gestión de los servicios de agua potable y saneamiento se compone de los procesos de producción (captación, potabilización y almacenamiento), distribución, consumo, alcantarillado y saneamiento, reutilización y retorno.

La ejecución de la política pública en México se realiza a través de diversas instancias de carácter federal, estatal y municipal, que en orden jerárquico son las siguientes:

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Propone la Política Hídrica del país.

- La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Autoridad en materia hídrica y Órgano Superior de carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación en materia de gestión integrada de los recursos hídricos.
- El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Realiza investigaciones, desarrolla, adapta y transfiere tecnología, presta servicios tecnológicos para el manejo, conservación y rehabilitación del agua y su entorno.
- La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Promueve acciones para la reparación o compensación del daño ambiental a los ecosistemas asociados con el agua.
- La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). Regula los mecanismos para satisfacer las necesidades de tierra considerando la disponibilidad de agua que se requiere para el desarrollo urbano y la vivienda.
- La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Vigila y monitorea la calidad del agua destinada para uso y consumo humano en las tomas domiciliarias.
- Gobiernos Estatales. Responsables de otorgar los servicios de públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales
- Municipios. Al igual que los gobiernos estatales son responsables de otorgar los servicios de públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales
- Organismos Operadores de Agua, Responsables de administrar y operar los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

La operación de la política pública del agua en nuestro país se rige por lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) donde se señala que la autoridad en materia de aguas nacionales es la CONAGUA y para su operación el territorio de México se ha dividido en (pag.17) trece Regiones Hidrológico-Administrativas<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> Una Región Hidrológica-Administrativa se integra de una o varias cuencas hidrológicas. Una cuenca hidrológica es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por una parte aguas o divisoria de las aguas- aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad- en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, recursos suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con estos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está integrada por subcuencas y éstas últimas por microcuencas. (Artículo 3 de la Ley de Aguas Nacionales, tomado de Auditoría Superior de la Federación, Evaluación de la Política Pública del Agua en México, 2019, Pag. 17)

La CONAGUA mantiene el control de los volúmenes concesionados a los usuarios de aguas nacionales a través del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). El uso del agua se clasifica en dos tipos: consuntivo y no consuntivo. El uso consuntivo se presenta cuando existe diferencia entre el volumen extraído y el descargado al realizar una actividad y el uso no consuntivo se presenta cuando no se modifica el volumen y generalmente se presenta en las centrales hidroeléctricas.

El agua de uso consuntivo es provista de dos fuentes: el 38.9% proviene de los 653 acuíferos de aguas subterráneas y el 68.1% proviene de 757 cuencas de aguas superficiales. Los volúmenes de aguas nacionales concesionados se destinan a las siguientes actividades: el 76.3% al uso agrícola, el 14.6% para abastecimiento público, el 4.8% para energía eléctrica y el 4.3% para la industria auto establecida.

El agua concesionada para abastecimiento público se refiere a aquella empleada en el uso doméstico y para uso público urbano y la fuente principal es el agua subterránea de los acuíferos que representa el 58.5%. La demanda de agua para el abastecimiento público se ha incrementado con el crecimiento de las zonas urbanas y el crecimiento de la población en todo el país, uno de los mayores retos para hacer frente a este incremento es mantener la calidad y cantidad del agua suficiente para el consumo humano. (ASF, 2019)

En este sentido, los Organismos Operadores de Agua se encuentran en una posición estratégica para mejorar el abasto del agua para uso consuntivo, los Organismos Operadores de Agua (OOA) son las instancias que enfrentan los retos relacionados con la demanda, la calidad del agua y la mejora en la prestación de los servicios públicos del agua, drenaje y alcantarillado.

Por ello, esta investigación se ha centrado en el estudio de los indicadores de desempeño y eficiencia de los OOA en México encontrando los siguientes hallazgos:

- a. El modelo de eficiencia que opera en México para el monitoreo de los OOA es propuesto por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- b. El modelo de eficiencia a cumplir por parte de los OOA contempla tres áreas en la operación, administración y funcionamiento de dichos Organismos, estas áreas son: Ingeniería de producción y distribución, comercialización del servicio y desarrollo institucional.

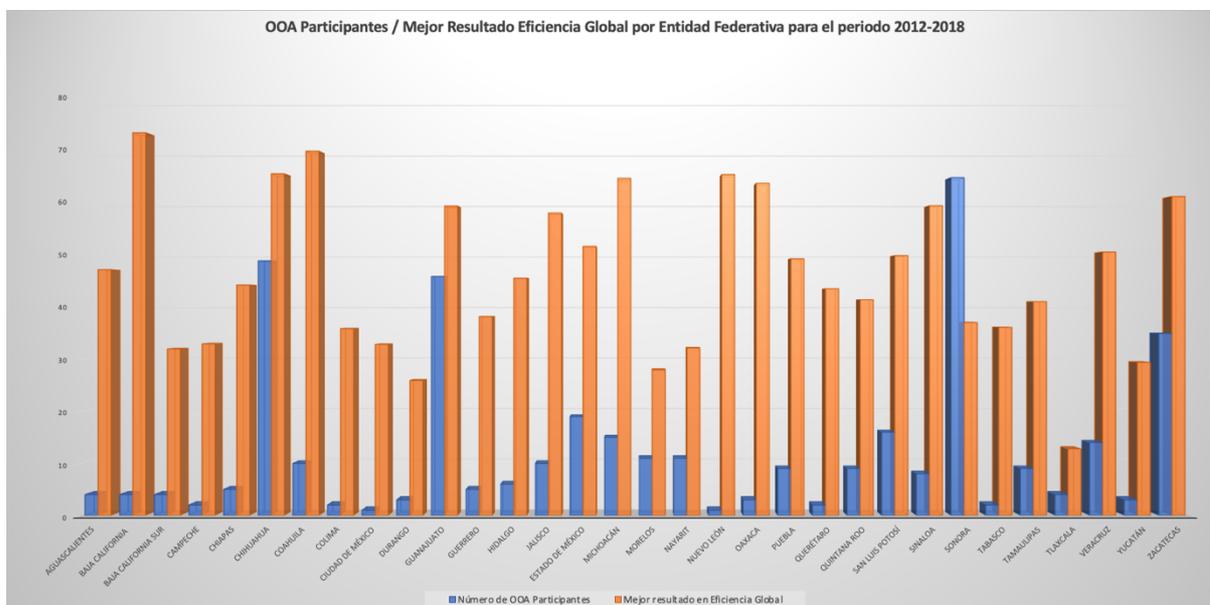
- c. La medición de la eficiencia en los OOA se realiza a través de la construcción de cinco indicadores: la eficiencia física 1, la eficiencia física 2, la eficiencia comercial, la eficiencia de cobro y la eficiencia global.
- d. Los indicadores de eficiencia se centran en la medición y valoración de las dimensiones técnica, de ingeniería, infraestructura y financiera de los OOA.
- e. La información disponible sobre el desempeño de los OOA se encuentra en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua (PIGOO) que se encuentra a cargo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- f. Los indicadores de seguimiento al desempeño se construyen con datos históricos proporcionados por los OOA mediante un formulario que es requisitado bajo sus propios criterios y de manera voluntaria.
- g. Los datos disponibles corresponden a 387 OOA que representan el 15% de los Organismos Operadores en México.
- h. La participación de los Organismos Operadores de Agua en los Indicadores de Gestión a través del PIGOO no es regular, ni homogéneo, los Organismos aportan información sólo en algunos años y sólo para algunos indicadores.
- i. El número de Organismos Operadores participantes es distinto según la entidad federativa, sin embargo, se puede observar que en los resultados de la Eficiencia Global predominan los estados de la región norte del país con mejores resultados, mientras que, en los estados del sur los resultados son más bajos (véase la Ilustración 1).
- j. De acuerdo con el Artículo 115 Constitucional los municipios son los responsables de prestar los servicios públicos del agua potable y saneamiento, menciona además que se pueden establecer convenios con los Estados para que, de manera directa o a través de un Organismo se presten dichos servicios.
- k. La investigación ha incluido la construcción de un Índice de Eficiencia General (IEG) mismo que se construyó con los resultados de las cinco eficiencias para 387 Organismos en el periodo de 2012-2018, los Factores obtenidos (Índice de Eficiencia de Cobro e Índice de Eficiencia en Macro y Micromedición) destacaron componentes de tres Eficiencias: la Comercial, de Cobro y la Eficiencia Física 2 y comprenden los siguientes aspectos de los Organismos Operadores:

- La cobertura de la red y el servicio, identificando las zonas reales de atención y las potenciales que contemplan el crecimiento urbano y demográfico en el territorio de su competencia.
  - Los aspectos técnicos relacionados con los volúmenes del recurso suministrados al sistema de abasto, la captación de agua y los flujos de extracción que contribuyen a la incorporación de sistemas de macro medición cada vez más eficientes. En este conjunto de elementos también se contempla el registro, seguimiento y atención a las fugas del sistema de abasto, el mantenimiento y actualización de la red de infraestructura de abasto y el consumo de energía empleado en la prestación del servicio.
  - Los aspectos relacionados con la facturación y el cobro del recurso. El monitoreo de los consumos y la implementación de sistemas de facturación y cobro son también considerados en este conjunto de elementos. Además, contempla los sistemas empleados para el registro de consumos de acuerdo a cada tipo de usuario, la tecnología y los recursos humanos empleados como parte de los procesos de registro de los consumos.
- I. La investigación también ha incluido la construcción de un Modelo de Regresión Gamma que da evidencia de la intensidad con que impactan el Índice de Eficiencia de Cobro y el Índice de Eficiencia en Macro y Micromedición en el nivel general de eficiencia de los Organismos Operadores de Agua.

En el modelo de regresión Gamma, los coeficientes presentan una relación directamente proporcional, de manera que al incrementarse la Eficiencia Comercial en un punto porcentual la eficiencia general aumentará en 0.5848% y, además, si la Eficiencia de la Micro y Macromedición se incrementa en 1% la eficiencia general aumentará en 0.3641%. El Modelo de Regresión explica en 76% la variabilidad de los datos en el fenómeno de estudio.

De esta forma, los Organismos Operadores aumentarán su nivel de eficiencia a medida que mejoren la cobertura de la red y el servicio, optimicen los procesos de captación del recurso y abasto del mismo, mejoren los procedimientos y sistemas de facturación y cobro del recurso y además mejoren los sistemas y

procedimientos logísticos, de organización y de recursos humanos para realizar la más eficiente medición de los flujos del recurso del agua que se abastecen y que son efectivamente facturados.



**Figura 10:** OOA Participantes, Mejor resultado Eficiencia Global 2012-2018

**Fuente:** Elaboración propia con información del Programa de Indicadores de Gestión (PIGOO)

De esta forma, los hallazgos y resultados de la investigación permiten emitir las siguientes recomendaciones en materia de política pública:

1. En la construcción del Plan Nacional Hídrico involucrar a los sectores público, privado y social para contar con una visión integral de las problemáticas y necesidades en materia del agua en el país.
2. Incrementar la vinculación entre los tres órdenes de gobierno a través de las instancias facultadas en materia de agua, para generar una política pública integral donde se contemplen soluciones a los problemas y necesidades de todo el territorio en México.
3. Fortalecer la vinculación de la CONAGUA con los gobiernos estatales y municipales para trabajar de manera conjunta en el monitoreo de los resultados de desempeño de los Organismos Operadores.
4. Fortalecer el seguimiento a los Organismos Operadores del Agua, permitiendo el seguimiento directo de su desempeño y resultados por parte de la CONAGUA.
5. Impulsar la vinculación interinstitucional a nivel estatal para fortalecer la participación de instancias estatales involucradas en el ordenamiento territorial y desarrollo urbano, en la planeación y organización del abasto del agua.

6. Fortalecer la vinculación de instituciones estatales con instituciones municipales involucrados en problemáticas y necesidades locales relacionadas con el tema del agua para generar proyectos e iniciativas con soluciones viables en las distintas regiones del país.
7. Involucrar a los Organismos Operadores de Agua en la Planeación y el Ordenamiento Territorial de los espacios urbanos en el país para tomar en cuenta los factores que impactan en el abasto del agua en dichos espacios.
8. Realizar las modificaciones pertinentes en materia normativa para incluir el reporte periódico de datos e indicadores que permitan dar seguimiento y evaluación al desempeño de los Organismos Operadores y así contar con bases de datos que permitan conocer el estatus real de los OOA en el país.
9. Motivar a la investigación continua y al planteamiento de soluciones relacionadas con el agua desde el sector privado, el sector público y la sociedad civil organizada.
10. Regularizar el registro de los Organismos Operadores de Agua en todo el país para contar con un padrón actualizado y formal que permita el seguimiento de los mismos.
11. Ampliar la difusión de los programas de mejora técnica, hidráulica y de desempeño que la CONAGUA emite para el fortalecimiento de los Organismos Operadores del Agua.
12. Institucionalizar la evaluación en los Organismos Operadores de Agua, como una práctica hacia la mejora continua.
13. En los Organismos Operadores de Agua generar programas de capacitación continua en las áreas de ingeniería y abasto para contribuir a la mejora de los sistemas de micro y macromedición y en los sistemas de cobro y comercialización del recurso.
14. Impulsar la incorporación de nueva y mejor tecnología en los distintos procesos de operación de los Organismos Operadores que impacten en la mejora de la infraestructura, el monitoreo de fuga y el abasto del servicio, evitando el desperdicio del recurso y la aparición de tomas clandestinas.
15. De manera interna, fortalecer la comunicación entre las distintas áreas que conforman los Organismos Operadores para compartir información que permitan mantener estándares altos de desempeño.

## **Conclusiones Generales**

## **Conclusiones Generales**

Con base en las problemáticas relacionadas con el abasto del agua potable en México, la investigación ha realizado una revisión del modelo de eficiencia aplicable a los Organismos Operadores de Agua. El modelo de evaluación es planteado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y promueve la mejora del desempeño en tres escenarios: la ingeniería del sistema de abastecimiento; la comercialización de los servicios de agua potable; y el desarrollo institucional del organismo operador.

Los problemas relacionados con el abasto del agua son de distintas magnitudes y provienen de diversos factores, la presente investigación se ha centrado en la propuesta de mejorar la eficiencia en el desempeño de los organismos operadores para alcanzar niveles óptimos en la cobertura y prestación del servicio.

La evaluación de la eficiencia en los Organismos Operadores de Agua en México no se realiza de forma regular, los informes proporcionados con datos históricos para la construcción de 32 indicadores de gestión son integrados por los mismos Organismos y proporcionada de forma voluntaria, esto hace que los datos disponibles sean escasos y se presenten de forma irregular.

De acuerdo con el INEGI en México existen 2,517 Organismos Operadores, de los cuales 44 son de carácter privado y el resto son públicos, en el periodo de estudio que comprende los años de 2012 a 2018, solo 387 organismos informaron sobre su condición a través de datos históricos con los cuales se determinaron las cinco eficiencias motivo de análisis de este trabajo.

La investigación se presenta en cuatro capítulos. En el primer capítulo se han descrito los elementos metodológicos y el marco conceptual de la investigación y se ha descrito el concepto y el modelo de eficiencia aplicable a los Organismos Operadores de Agua en México planteado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Para CONAGUA la eficiencia del sistema de agua potable es la “capacidad de captar, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua, desde la fuente natural hasta los consumidores con un servicio de calidad total” (CONAGUA, 2012, 10), y su modelo propone la mejora de la eficiencia en tres escenarios: la ingeniería del sistema de abastecimiento; la comercialización de los servicios de agua potable; el desarrollo institucional del organismo operador.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) cuenta con el Programa de Indicadores de Gestión (PIGOO) donde se registra el resultado de 39 datos históricos a partir de los cuales se construyen 32 indicadores de gestión, entre ellos, las 5 eficiencias. Esta información es la base para la construcción del Índice de Eficiencia General y el modelo de regresión propuestos en la investigación.

En el segundo capítulo se han descrito los componentes de la gestión pública del agua en México, desde la base normativa que fundamenta la actuación de los municipios y los Organismos Operadores, la gestión de los servicios públicos, la gestión de los recursos hídricos, la regulación de los organismos operadores y la política pública del agua en México.

El fundamento legal básico para la operación de los Organismos Operadores se encuentra en la Constitución Política y en la Ley de Aguas Nacionales. Los Artículos 4, 27 y 115 Constitucionales establecen el derecho al acceso, la disposición y el saneamiento de agua, la propiedad de las aguas por parte de la Nación y la obligación de los municipios para prestar los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.

Por su parte en la Ley de Aguas Nacionales, los Artículos 20 y 44 detallan los mecanismos autorizados para la explotación, uso y aprovechamientos de los recursos hídricos del país, específicamente lo relacionado a la concesión y creación de organismos operadores en los que se puede delegar la prestación de los servicios públicos del agua.

También existe normatividad secundaria como la Ley Federal de Derechos, el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y las Normas Oficiales Mexicanas que precisan los aspectos ambientales y de sanidad que deben cumplirse en la prestación de este servicio.

De acuerdo con la normatividad revisada, los municipios tienen la obligación de prestar los servicios públicos del agua, pero también tienen la facultad de delegar esta función en organismos cuyas figuras jurídicas pueden ser sistemas descentralizados, juntas locales, departamentos y comités de usuarios o bien como empresas concesionarias privadas.

De esta forma, la prestación del servicio público del agua ha recaído en organismos operadores regulados por autoridades gubernamentales, cuya condición actual requiere

del fortalecimiento en aspectos tales como: la generación, confiabilidad y estandarización de la medición e información estadística sobre la gestión del agua urbana; los indicadores de eficiencia física y comercial de los sistemas; la percepción ciudadana en la calidad del recurso y la prestación del servicio, además de mejorar su capacidad de respuesta ante cambios en la demanda y en factores externos que impactan la disponibilidad del recurso.

En el tercer capítulo se ha realizado un análisis factorial de los resultados obtenidos en las cinco eficiencias por parte de los organismos operadores para el periodo de 2012 a 2018 y se ha utilizado esta técnica para la construcción de un Índice General de Eficiencia en el abasto del agua en México.

- Eficiencia Física 1. Evalúa la eficiencia entre lo consumido y lo producido.
- Eficiencia Física 2. Evalúa la eficiencia entre lo facturado y lo producido.
- Eficiencia Comercial. Evalúa la eficiencia entre la facturación y el pago de la misma.
- Eficiencia de Cobro. Evalúa la eficiencia de cobro del agua.
- Eficiencia Global. Calcula la eficiencia global del sistema de agua potable.

El modelo de análisis factorial obtenido conserva el 61.9% de la variabilidad de los datos, con un nivel de confianza al 0.95 y con nivel de significancia al 0.05, con ello se logra explicar la dinámica de las eficiencias en los organismos operadores de agua en un 61.9% a través de la siguiente expresión algebraica que representa el Índice de Eficiencia General.

$$E(IEG) = IEC + IEMM \quad ( 55 )$$

Cabe destacar que aún, cuando la variabilidad de los datos se conserva en un porcentaje representativo, estos resultados pueden ser mejores a medida que la base de datos aumente, hasta 2018, los datos disponibles incluyen la información proporcionada por 387 organismos siendo que en México se registran más de 2,000 organismos operadores de agua.

El Índice de Eficiencia General, es el resultado de dos componentes complejos que agrupan variables administrativas, técnicas y de gestión en los organismos operadores de agua:

a. En el Factor 1 (Índice de Eficiencia de Cobro) las variables significativas son la Eficiencia Comercial y la Eficiencia de Cobro, contemplando los siguientes aspectos:

1. La cobertura de la red y el servicio, monitoreando los cambios y haciendo frente a los nuevos retos que les plantea la transformación territorial por variables como: el crecimiento demográfico, la concentración poblacional en los centros urbanos, el cambio climático, entre otros.
2. El volumen del recurso captado y suministrado, el registro, seguimiento y atención de las fugas del sistema de abasto, el mantenimiento y actualización de la red de infraestructura de abasto y el consumo de energía empleado en la prestación del servicio.
3. La facturación y el cobro del recurso, implementando sistemas de facturación y cobro cada vez más eficientes e integrales donde se contemple el uso de tecnología y la capacitación del personal que registra los consumos por tipo de usuario.

b. En el Factor 2 (Índice de Eficiencia en Macro y Micromedición), la variable significativa es la Eficiencia Física 2 que evalúa la relación entre lo facturado y lo producido y que comprende la macro y micro medición del agua, siendo representativos los sistemas empleados en dichas mediciones y los sistemas y procedimientos logísticos, de organización y de recursos humanos para realizar la más eficiente medición de los flujos del recurso del agua que se abastecen y que son efectivamente facturados.

En el Índice de Eficiencia General ambos Factores presentan una relación directamente proporcional, por lo que a medida que los organismos mejoren en los aspectos técnicos, administrativos y de gestión del agua contemplados en la Eficiencia de Cobro, la Eficiencia Comercial y en la Eficiencia Física 2, lograrán mayores niveles de eficiencia general. Además, el seguimiento y la evaluación a los organismos operadores de agua requiere de una mayor participación por lo que se deben fortalecer los aspectos normativos que regulen y garanticen la información periódica por parte de dichos organismos, a medida que exista mayor participación se podrá contar con mayor

número de indicadores, se podrán realizar mayor número de investigaciones y análisis que contribuyan a la mejora de los procesos implementados en la prestación de un servicio básico importante para el desarrollo humano y el desenvolvimiento de la economía, además de contribuir al logro de mejores resultados en indicadores de salud, medio ambiente y pobreza.

El cuarto capítulo comprende la construcción de un modelo de regresión Gamma técnica que forma parte de los Modelos Lineales Generalizados (MLG) cuyo propósito es analizar las variables con diversos comportamientos donde los supuestos de una relación lineal no siempre se cumplen. En particular, la Regresión Gamma permite el modelamiento de variables que tienen el siguiente comportamiento:

- La variable dependiente no tiene una distribución normal.
- Los datos sin transformar no tienen una relación lineal.
- Los datos provienen de una distribución de la familia exponencial<sup>27</sup>, por ejemplo, binomial, Poisson, multinomial, normal, normal inversa, etc.
- Los Modelos Lineales Generalizados no asumen una relación lineal entre la variable dependiente y, independiente, pero asume una relación lineal de los datos de la variable dependiente transformado y la variable independiente. Por consecuencia se asume una relación lineal entre la variable binaria y la variable explicativa después de usar la transformación con el link,  $\text{logit}(\pi) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i$ .
- No se toma en cuenta el supuesto de igualdad de varianza (homogeneity of variance)
- Los errores tienen que ser independientes, pero no importa si cumple con una la distribución normal.

A partir del Índice de Eficiencia General (IEG) obtenido mediante análisis factorial en el Capítulo 3 se construyó el Modelo de Regresión Gamma y se realizó la propuesta de tres links: identidad, logaritmo e inversa, de los cuales, el link logaritmo presentó el mejor ajuste para los datos. El Modelo de Regresión Gamma a través de un link de logaritmo obtenido es el siguiente:

---

<sup>27</sup> Una variable pertenece a una familia exponencial de  $k$  parámetros  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$  si su función de probabilidad o de densidad se puede factorizar de la siguiente manera:

$$f_{(x;\theta)} = A(\theta) B(x) \exp \left[ \sum_{i=1}^k c_i(\theta) D_i(x) \right]$$

Donde la función  $A(\theta)$  es función únicamente de los parámetros, no necesariamente de los  $k$ , la función  $B(x)$  es función únicamente de la variable y ambas son no negativas. (Díaz y Flores, 2012, p. 7)

$$E (\text{IEG}) = 35.7732 * e^{0.5848\text{IEC} + 0.3641\text{IEMM}}$$

( 56 )

Donde ambos coeficientes guardan una relación directamente proporcional con el Índice de Eficiencia General de tal forma que al incrementarse la Eficiencia Comercial en un punto porcentual la eficiencia general aumentará en 0.5848% y, si la Eficiencia de Micro y Macromedición se incrementa en 1% la eficiencia general aumentará en 0.3641%. Este modelo explica el 76% de la variabilidad de los datos en el fenómeno de estudio.

De esta forma, la investigación ha empleado herramientas estadísticas para la valoración de un fenómeno complejo, se ha construido un modelo de eficiencia general que destaca los factores de mayor peso en la eficiencia de los Organismos Operadores, y se ha elaborado un modelo de regresión gamma que permite la proyección de resultados en la eficiencia general de dichos Organismos como una aportación para la mejora en la prestación del servicio público del agua, Además, con base en los hallazgos y los resultados obtenidos se ha incluido un apartado de recomendaciones en materia de política pública donde se han destacado los siguientes elementos:

- a. La participación de los sectores público, privado y social en la definición del Plan Nacional Hídrico
- b. La vinculación en los tres órdenes de gobierno para la atención de problemáticas y necesidades en materia del agua en México.
- c. La actualización normativa a nivel federal y estatal para permitir a la CONAGUA el trabajo directo con los Organismos Operadores para capacitar, actualizar y dar seguimiento a su desempeño.
- d. La participación de instancias de los tres órdenes de gobierno, relacionadas con el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano, en el diseño e implementación de la política pública.
- e. Incentivar la participación de los Organismos Operadores de Agua para compartir información que permita monitorear su desempeño.
- f. Impulsar la investigación científica y tecnológica en materia de agua para encontrar soluciones viables a las problemáticas y necesidades actuales.
- g. Fortalecer la participación conjunta del sector público, sector privado y sociedad civil organizada para crear e implementar proyectos viables y de carácter sustentable que permitan solucionar los problemas de abasto de agua en las zonas urbanas y rurales.

Estas recomendaciones se emiten bajo el contexto de la información disponible, los retos identificables y las áreas de oportunidad de los Organismos Operadores de Agua en México, sabiendo que el tema del agua es vasto y complejo esta investigación motiva a la continuidad de seguir indagando a favor de las sociedades actuales que enfrentan grandes problemas con el abasto de este recurso básico.

## Referencias

- Aguilar, I. y Monforte, G. (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad: El caso del área metropolitana de Monterrey. *Revista Gestión y Política Pública*. Volumen 27. Número 1. Enero-Junio, 2018. México. Pp. 149-179
- Armijo, M. (2009). *Manual de Planificación Estratégica e Indicadores de Desempeño en el Sector Público. Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública*. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social ILPES. Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. Santiago de Chile. 2009. Pp. 1-103
- Auditoría Superior de la Federación, Evaluación Número 1585-DE de la Política Pública de Agua Potable, México, Cámara de Diputados, 2019, consultado el 20 de noviembre de 2021 en [https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2017c/Documentos/Auditorias/2017\\_1\\_585\\_a.pdf](https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2017c/Documentos/Auditorias/2017_1_585_a.pdf)
- Baños, J. (2014). Consideraciones sobre la gestión metropolitana en México. Acercamiento al caso de la Bahía de Banderas. *Trace* [En línea], 64 | 2013, Publicado el 04 agosto 2014, consultado el 09 septiembre 2022. URL: <http://journals.openedition.org/trace/1256Bass> 2006
- Bass, S. (2006). Dimensión Social de la Planeación Urbana de la Ciudad de México. En Bass, S. (2006). *Estructura Social y Planeación Urbana en la Ciudad de México, 1990-2000*. Capítulo 3. Tesis Doctoral. El Colegio de México, Centro de Estudios Sociológicos. Abril, 2006. Pp.87-155
- Bosch, N., Pedraja, F. y Suárez, J. (1998). La medición de la eficiencia en la prestación de los servicios públicos locales: el caso del servicio de recogida de basuras. Centro de Estudios sobre Economía Pública. Fundación BBV. Bilbao, España, 1998. Pp. 1-117
- Calderón, Zulaica, Massone y Torre (2020). Vinculación entre el Ordenamiento Territorial y la gestión del agua en Argentina y en la provincia de Buenos Aires. Análisis de aspectos normativos e institucionales (2003-2019). *Revista de Geografía Norte Grande*. Número 77. Argentina. 2020. Pp. 173-190

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley de Aguas Nacionales, Última reforma 6 de enero, México, 2020, Recuperado de [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_060120.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf)

Camacho Héctor, Casados Jorge, Regulación de los servicios de agua potable y saneamiento en México, Secretaría de Medio Ambiente. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 2017. Pp. 1-196. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/regulacion-servicios/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/regulacion-servicios/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. CENEVAL, Análisis Factorial: una técnica para evaluar la dimensionalidad de las pruebas, Cuaderno Técnico Número 6, Primera edición, Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. México, D.F. 2009 <https://xdoc.mx/documents/analisis-factorial-5e1e217908cb9>

Cohen Ernesto, Franco Rolando, Evaluación de proyectos sociales. Siglo XXI Editores, Primera Edición, México, 1992. Pp. 1-315. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1915/S3092C678E\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1915/S3092C678E_es.pdf)

Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales CAASIM. (Varios años). Armonización Contable. Cuenta Pública 2014-2019. Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales. Consultado el día 29 de Abril de 2020 en <http://caasim.hidalgo.gob.mx/pag/armonizacionContable.html>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2009). Guía Metodológica. Diseño de Indicadores Compuestos de Desarrollo Sostenible. Colección documentos de proyecto. CEPAL p. 1-109. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/1/S2009230\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/1/S2009230_es.pdf)

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2021). Indicadores de Desempeño de la Gestión Pública. Presentación. Curso del Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Pp. 1-6.

Comisión Nacional del Agua, Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, Gobierno Federal, México, 2012  
<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgapds-1-12.pdf>

Comisión Nacional del Agua (2012). Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Gobierno Federal. Abril, 2012. Pp. 1-176

Comisión Nacional del Agua, Política Pública de Mejoramiento de Eficiencias en los Sistemas Urbanos de Agua Potable y Saneamiento en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, Gobierno Federal, México, 2012. Octubre 2012. Pp. 1-44.  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPD-S-45-12.pdf>

Comisión Nacional del Agua, Indicadores de Gestión Prioritarios en Organismos Operadores, Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, Subcoordinación Hidráulica Urbana, Coordinación Hidráulica Urbana, México, 2014, Recuperado de: [http://www.pigoo.gob.mx/Informes/HC1415-1\\_IndicadoresdeGestionPrioritariosenOrganismosOperadores.pdf](http://www.pigoo.gob.mx/Informes/HC1415-1_IndicadoresdeGestionPrioritariosenOrganismosOperadores.pdf)

Comisión Nacional del Agua, Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, México, 2019, Pp. 1-163.  
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/CGRF-1-19%20LFD.pdf>

Comisión Nacional del Agua (2015). Guía para el Desarrollo de Reglamentos para la prestación de servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Gobierno Federal. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 2015. Pp. 1-63.

Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales, Estudio de Actualización del Diagnóstico y de Control del Agua No Contabilizada Pachuca, Hidalgo. CAASIM, México, 2019, Recuperado de <http://transparencia.hidalgo.gob.mx/descargables/ENTIDADES/CAASIM/transparencia2020/1ertrimestre/Secretaria%20Tecnica/ESTUDIO%20DE%20AGUA%20NO%20CONTABILIZADA.pdf>

Comisión Nacional del Agua, Manual de operación y procedimientos. Programa de agua potable, drenaje y tratamiento PROAGUA, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, México, Marzo, 2020. Pp. 1-40. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/544463/MANUAL\\_DE\\_PROAGUA\\_2020.PDF](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/544463/MANUAL_DE_PROAGUA_2020.PDF)

Comisión Nacional del Agua, Banco mundial, Gobierno de España y ANEAS, Agua urbana en el Valle de México ¿Un camino verde para mañana? Washington. D.C., México, 2013. Pp. 1-92 <https://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2015/06/Agua-Urbana-en-el-Valle-de-Mexico.pdf>

Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales. (2019). Estudio de Actualización del Diagnóstico y de Control del Agua No Contabilizada Pachuca, Hidalgo. CAASIM. 2019. Pp. 20-23

Cortez, P. y Alcocer, V. (2018). Algunas consideraciones para alcanzar los objetivos planteados en la Agenda 2030: Uso público-urbano, reducción de pérdidas de agua. Pp. 1-15

Cortez, P. (2017). Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable. Organización y funcionamiento para mejorar la calidad del servicio. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Primera Edición. México, 2017. Pp. 1-240.

Cruz Ramírez Miguel, Conf. 8 Introducción al análisis factorial en educación matemática, ResearchGate, 2018, Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/326449965\\_Conf\\_8\\_Introduccion\\_al\\_analisis\\_factorial\\_en\\_educacion\\_matematica](https://www.researchgate.net/publication/326449965_Conf_8_Introduccion_al_analisis_factorial_en_educacion_matematica)

De la Garza, E. (2005). Neoinstitucionalismo ¿Opción ante la elección racional? Una discusión entre la Economía y la Sociología. Universidad Nacional Autónoma de

México. Instituto de Investigaciones Sociales. Revista Mexicana de Sociología 67. Número 1. Enero-Marzo, 2005. Pp. 163-203.

Díaz Monroy Luis Guillermo, Estadística Multivariada: Inferencia y Métodos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Departamento de Estadística. Facultad de Ciencias, Bogotá Colombia. Pp. 1-564. Recuperado de [http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad\\_de\\_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas\\_Libros/Estadistica/Estadistica\\_Multivariada\\_Inferencia\\_y\\_Metodos/Estadistica\\_multivariada\\_inf..pdf](http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Estadistica/Estadistica_Multivariada_Inferencia_y_Metodos/Estadistica_multivariada_inf..pdf)

Durán, J. y Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. Revista Espiral. Estudios sobre Estado y Sociedad. Volumen XII. Número 36. Mayo-Agosto, 2006. Pp. 129-162

Febres, M. (2011). La Gestión Pública del Urbanismo. Revista Venezolana de Gestión Pública. Número 2. Año 2. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. Enero-Diciembre 2011. Pp. 175-203.

Ferro, G., Lentini, E. y Romero, C. (2011). Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado. Comisión Económica para América Latina CEPAL. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. GIZ. Documento de Trabajo. Colección Documentos de proyectos. Santiago de Chile, febrero, 2011. Pp. 1-58

Flores, F., Rodríguez, M. y Alcocer, V. (2012). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Subcoordinación de Hidráulica Urbana Coordinación de Hidráulica. México, 2012. Pp. 1-129

Gobierno del Estado de Hidalgo (2018). Programa Institucional de Desarrollo de la Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales 2017-2022. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 27 de agosto de 2018. Pp. 37-63

Guerrero, B. (s.f.). Análisis Factorial. Presentación. México. Pp. 1-27.

Hansen, M. y Rodríguez, J. (2019). Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Subcoordinación de Hidráulica Urbana Coordinación de Hidráulica. México, 2019. Pp. 1-124

Hernández, C. y Maldonado, S. (2013). Eficacia de la gestión de los servicios públicos agua y drenaje en la zona metropolitana Tlaxcala-Apizaco. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración ANFECA. XVIII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. Octubre 2, 3 y 4 de 2013. Ciudad Universitaria. México D.F. Pp. 1-20

Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). Guía para la creación de organismos metropolitanos de agua potable y saneamiento en México. Embajada Británica en México. Febrero 2014. <https://imco.org.mx/guia-para-la-creacion-de-del-organismos-metropolitanos-de-agua-potable-y-saneamiento-en-mexico/>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA (2017). Sistema Comercial de Organismos de Agua Potable. Organización y funcionamiento para mejorar la calidad del servicio. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Primera Edición. México, 2017. Pp. 1-240

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Censo de Población y Vivienda 2000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2020, Consultado el día 07 de Abril de 2020 en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2010, Consultado el día 07 de Abril de 2020 en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Encuesta Intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2015, Consultada el día 25 de Abril de 2020 en <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html?ps=microdatos#Tabulados>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Mapa Digital 6.3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2020, Consultado el día 25 de Abril de 2020 en <https://www.inegi.org.mx/temas/mapadigital/>

Jiménez, B., Torregrosa, M. y Aboites, L. (2010). El agua en México. Cauces y Encauces. Academia Mexicana de Ciencias. Primera Edición. México, 2010. Pp. 1-700.

Jiménez, M. (2005). Servicios Públicos de Abastecimiento de Agua, Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito Municipal. Universidad Nacional Autónoma de México. Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. México, 2005. Pp. 249-263

Jordán y Simioni (Coords.) (2003). Aspectos teóricos y de desarrollo. Fichas de instrumentos de gestión urbana municipal. En Jordán y Simioni (Coords.) (2003). *Guía de Gestión Urbana*. Capítulo 2 y Capítulo 3. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile. Noviembre de 2003. Pp 21-64.  
Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5591/1/S0380537\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5591/1/S0380537_es.pdf)

Jouravlev, A. (2003). Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Serie. Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. Noviembre de 2003. Pp 1-70

Ley de Aguas Nacionales (2020). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Última reforma 6 de enero, 2020. Pp. 1-112.

Lockheed, M. y Hanushek, E. (1988). Improving Educational Efficiency in Developing Countries: What do we Know? Compare. Volumen 18. Número 1. Pp. 1-25

López, C. (2017). El estado del agua en México. En Denzin, et al (2017). El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. Fundación Friedrich Ebert. Proyecto Regional Transformación Social-Ecológica. México. Diciembre, 2017. Pp. 13-41

- López, M. y Ochoa, H. (2012). Geopolítica del agua en la zona metropolitana de Guadalajara: Historia y situación actual del espacio vital. Universidad Jesuita de Guadalajara. México. 2012. Pp. 33-71  
<https://rei.iteso.mx/xmlui/themes/Mirage2/bookview/template.html?path=/bitstream/handle/11117/453/Geopol%C3%ADticaDelAgua-Gobernanza.pdf?sequence=2&isAllowed=y#page=10>
- Losada, R. y, Casas, A. (2008). Capítulo V. enfoques que privilegian las instituciones. En Losada, R. y, Casas, A. Enfoques para el análisis político. Historia, epistemología y perspectivas de la ciencia política. Capítulo V. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá 2008. Pp. 163-194
- Luege, J. (2012). El ordenamiento territorial: reto para mejorar la política hídrica del país. Revista. Las vertientes de la CONAGUA. Nota Principal. Año 18. Número 197. Septiembre, 2012. Pp. 3-5
- Lutz, A. y Salazar A. (2011). Evolución y perfiles de eficiencia de los organismos operadores de agua potable en México. Revista Estudios Demográficos y Urbanos. Volumen 26. Número 3. Año 2011. El Colegio de México. 2011. Pp. 1-29
- Lutz, A. y Salazar A. (2015). Factores Asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México. Revista Región y Sociedad. Año XXVII. Número 62. El Colegio de Sonora. 2015. Pp. 5-26
- Manetta, A. y Serrano, T. (2019). Desigualdades y Acceso al Agua Potable Entubada en la Zona Metropolitana de Pachuca, México 2015. Revista Antropología Americana. Volumen 4. Número 8. 2019. Pp. 117-136. ISSN en línea: 2521-7615.
- Martínez, C., Duarte, L., y Hernández, L. (2011). Gestión del agua en zonas metropolitanas. Los casos de Puebla-Tlaxcala y Valle de Aburrá. Editorial Académica Española. Alemania. 2011. Pp. 1-106
- Méndez Martínez Carolina, Rondón Sepúlveda Martín Alonso, Introducción al análisis factorial exploratorio, Revista Colombiana de Psiquiatría, volumen 41, número 1, enero-abril, 2012, Asociación Colombiana de Psiquiatría, Bogotá, Colombia, 2012.

- Méndez y Pascale (Coords.) (2014). El ordenamiento territorial. En Méndez y Pascale (Coords.) (2014). *Ordenamiento Territorial en el municipio; una guía metodológica*. Capítulo 3. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Santiago-Buenos Aires 2014. Pp. 6-10.
- Mokate, K. (1999). Eficacia, Eficiencia, Equidad y Sostenibilidad ¿Qué queremos decir? Banco Interamericano de Desarrollo. Instituto Interamericano para el Desarrollo Social INDES. Diseño y gerencia de políticas y programas sociales. INDES. Pp. 1-37.
- Moreno, E. (2015). Lo urbano en la región oriente del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Revista Quivera. Volumen 17. Número 2. Julio-diciembre, 2015. Toluca. México. Pp. 73-107
- North, D. (1993). Instituciones, cambio institucional y desempeño económico. México. Fondo de Cultura Económica. 1993. Pp. 1-190
- Olavarría, M. (2007). Conceptos básicos en el análisis de políticas públicas. Instituto de Asuntos Públicos, Departamento de Gobierno y Gestión Pública. Documentos de Trabajo. Número 11. Universidad de Chile. 2007. Pp. 1-92
- Pineda, N., Salazar, A., Moreno, J. y Navarro, L. (2017). La gestión urbana del agua: entre el oportunismo y el desarrollo adaptativo. En Denzin, et al (2017). El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. Fundación Friedrich Ebert. Proyecto Regional Transformación Social-Ecológica. México. Diciembre, 2017. Pp. 171-192
- Rolland, L. y Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. Revista Polis 2010. Volumen 6. Número 2. Pp. 155-188
- Ruíz, O. (2018). Zonas metropolitanas vs autoridades fragmentadas. Instituto Mexicano de Competitividad (IMCO). Manual urbano para ciudadanos exigentes. <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2018/11/h.Zonas-metropolitanas-ICU-2018.pdf>

- Santín, L. (2013). Las intermunicipalidades y los retos estratégicos para el desarrollo sustentable de los municipios. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades. Revista RC ET RATIO. Año IV. Número 7. julio-diciembre 2013. Pp. 11-31.
- SEGOB, SEDATU, CONAPO, INEGI. (2015). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015. Secretaría de Gobierno, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 2015. Pp. 1-288
- Sarmiento, R. y Castellanos, P. (2008). La eficiencia económica: una aproximación teórica. Cuadernos Latinoamericanos de Administración. Volumen IV. Número 7. Julio-Diciembre, 2008. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia. Pp. 19-28
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos. (2018). Programa de Modernización de las áreas comerciales de organismos operadores de agua. SHCP, IMTA, BANOBRAS. 2018. Pp.1-13
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Gobierno de México, Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2020. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020)
- Sotomayor, A. (2008). Los métodos cualitativos en la ciencia política contemporánea: Avances, agendas y retos. Revista Política y gobierno. Volumen XV. Número 1. I Semestre 2008. Pp. 159-179
- Vargas, J. (2008). Perspectivas del Institucionalismo y Neoinstitucionalismo. Ciencia Administrativa 2008-1. Ensayos. Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Jalisco. México. Pp. 47-58
- Ventura, M. (2011). Aspectos Institucionales de la gestión del agua en Pachuca, Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Sociales. Revista Mexicana de Sociología 73. Número 3. Julio-Septiembre 2011. México. D.F. Pp. 509-537. ISSN: 0188-2503/11/07303-05.

- Villarreal, E. (2010). Políticas públicas. En (Pre)textos para el análisis político. Disciplinas, reglas y procesos. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Flacso. México. Pp. 1-279
- Zamora, S., Monroy, L. y Chávez, C. (2009). Análisis Factorial: una técnica para evaluar la dimensionalidad de las pruebas. Cuaderno Técnico 6. Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C. CENEVAL. México. 2009. Pp. 1-104.
- Zegarra, E. (2014). Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión. Editorial GRADE. Lima, Perú. 2014. Pp. 1-221

## Anexo 1 Código de programación R determinación índice de Eficiencia General

```
###Librerias a utilizar para modelo factorial
library(psych)#matriz correlacion y varianza
library(FactoMineR)#graficos de vectores de los factores

####-----TRANSFORMANDO LA BASE EN MATRIZ-----
#####
###Caracteristicas de base de datos####
base
str(base) #conocer los tipos de variables
A<-array(base$Org)#conocer la variables nominal
A
#Eliminado la variable nominal#
Ejem<-base[,-1]
Ejem

####Trasformado la base a matriz#####
X1<-base$X1
X2<-base$X2
X3<-base$X3
X4<-base$X4
X5<-base$X5
Y<-base$`E(ef)`

Ejer<-cbind(X1,X2,X3,X4,X5)
Ejer
rownames(Ejer) <-c(A)
Ejer

###-----MODELO FACTORIAL-----###
#PASO I. Analizando la matriz correlación de las variables originales"
Z<-signif(cor(Ejer),2)
Z
pairs(Ejer)
pairs.panels(Ejer,pch = 21, main="Gráfico de correlación")
cor.plot(cor(Ejer),main="Gráfico de correlación" )

#PASO II. Calculado los factores#
FA<- factanal(Ejer, factors=2, rotation="varimax")
FA

#PASO III. Validando el modelo factorial
#Cálculo de los scores
scores <- factanal(Ejer, factors=2, method="mle", scores="regression")$scores
scores
```

```
#pruebas de normalidad de los factores#  
summary(scores)
```

```
#prueba de nocorrelación entre los factores#  
P<-signif(cor(scores),2)  
P  
pairs(scores)  
pairs.panels(scores,pch = 21, main="Gráfico de correlación de factores")  
cor.plot(cor(scores),main="Gráfico de correlación de factores" )
```

```
#prueba de varianzas y covarianzas#  
CV<-signif(cov(scores),2)  
CV  
cor.plot(cov(scores),main = "Grafico de varianzas y covarianzas")
```

```
#PASO IV. Nombrando los factores  
Factores
```

```
barplot(Factores$Factor1, col = "3", main = "Indice de Eficiencia de Cobro",  
        names.arg = c("X1", "X2", "X3", "X4", "X5"))
```

```
barplot(Factores$Factor2, col = "4", main = "Indice de Eficiencia en Macro y Micro  
medición",  
        names.arg = c("X1", "X2", "X3", "X4", "X5"))
```

```
colnames(scores)<-c("Indice de Eficiencia de Cobro", "Indice de Eficiencia en Macro y  
Micro medición")  
scores
```

## Anexo 2 Código de programación R determinación Modelo de Regresión Gamma

```
###Librerias a utilizar para modelo factorial
library(psych)#matriz correlacion y varianza
library(FactoMineR)#graficos de vectores de los factores

####-----TRANSFORMANDO LA BASE EN MATRIZ-----
----#####
###Caracteristicas de base de datos####
datos
str(datos) #conocer los tipos de variables
A<-array(datos$Org)#conocer la variables nominal
A
#Eliminado la variable nominal#
Ejem<-datos[,-1]
Ejem

####Trasformado la base a matriz#####
EF1<-datos$X1
EF2<-datos$X2
EC<-datos$X3
ECb<-datos$X4
EG<-datos$X5

Ejer<-cbind(EF1,EF2,EC,ECb,EG)
Ejer

rownames(Ejer) <-c(A)
Ejer

###-----MODELO FACTORIAL-----###
#PASO I. Analizando la matriz correlaci?n de las variables originales"
Z<-signif(cor(Ejer),2)
Z
pairs(Ejer)
pairs.panels(Ejer,pch = 21, main="Gr?fico de correlaci?n")
cor.plot(cor(Ejer),main="Gr?fico de correlaci?n" )
```

```

#PASO II. Calculado los factores#
FA<- factanal(Ejer, factors=2, rotation="varimax")
FA

#PASO III. Validando el modelo factorial
#C?lculo de los scores
scores <- factanal(Ejer, factors=2, method="mle", scores="regression")$scores
scores

#pruebas de normalidad de los factores#
summary(scores)

#prueba de nocorrelaci?n entre los factores#
P<-signif(cor(scores),2)
P
pairs(scores)
pairs.panels(scores,pch = 21, main="Gr?fico de correlaci?n de factores")
cor.plot(cor(scores),main="Gr?fico de correlaci?n de factores" )

#prueba de varianzas y covarianzas#
CV<-signif(cov(scores),2)
CV
cor.plot(cov(scores),main = "Grafico de varianzas y covarianzas")

#PASO IV. Nombrando los factores
Factores

par(mfcol=c(1,2))

barplot(Factores$Factor1, col = "red", main = "?ndice de Eficiencia Comercial (IEC)",
        names.arg = c("EF1","EF2","EC","ECb","EG"))

barplot(Factores$Factor2, col = "blue", main = "?ndice de Eficiencia en Micro y Macro
Medici?n (IEMM)",
        names.arg = c("EF1","EF2","EC","ECb","EG"))

```

```

#####--Modelo para predir la eficiencia a partir de los factores detonantes
##-Construir la matriz para el modelo
Z=cbind(scores)
Z
IEC<-c(Z[,1])
IEMM<-c(Z[,2])
ef=datos$Y
ef
Mod= cbind(IEC,IEMM,ef)
Mod

#--Construcci?n matriz de correlaci?n
pairs.panels(Mod,pch = 21, main="Gr?fico de correlaci?n")

#--Modelo regresi?n

##Cargar librerias##

library(lmtest)
library(MASS)
library(car)
library(faraway)
library(nortest)
library(ggplot2)
library(psych)
library(plotrix)

#--Calculo de parametros
modelo= lm(ef ~IEC+IEMM, data.frame(Mod))
summary(modelo)

#VALIDACION DEL MODELO

#Anova
anova(modelo)
#Prueba de normalidad
lillie.test(modelo$residuals)#Kolmogorov-Smirnov

```

```

shapiro.test(modelo$residuals)#Shapiro-Wilk
#Prueba de homocedasticidad
bptest(modelo)
#Autocorrelacion
dwtest(modelo)#Durbin-Watson
#Multicolinealidad
vif(modelo)

#---Correcci?n del modelo
boxcox(lm((ef ~ IEC+IEMM, data.frame=Mod))

modelo1= lm((ef^(1/3)) ~ IEC+IEMM, data.frame(Mod))
summary(modelo1)

```

#### #VALIDACION DEL MODELO

```

#Anova
anova(modelo1)
#Prueba de normalidad
lillie.test(modelo1$residuals)#Kolmogorov-Smirnov
shapiro.test(modelo1$residuals)#Shapiro-Wilk
#Prueba de homocedasticidad
bptest(modelo1)
#Autocorrelacion
dwtest(modelo1)#Durbin-Watson
#Multicolinealidad
vif(modelo1)

```

#### #---Modelo de Regresi?n gamma

```

modg = glm(ef ~ IEC+IEMM, data.frame(Mod), family=Gamma(link=identity))
summary(modg)

modg1 = glm(ef ~ IEC+IEMM, data.frame(Mod), family=Gamma(link=log))
summary(modg1)

```

```
modg2 = glm((ef) ~ IEC+IEMM, data.frame(Mod), family=Gamma(link=inverse))
summary(modg2)
```

```
#-- comparaci?n para seleccion de modelos
library(stargazer)
```

```
stargazer(modg,modg1,modg2,df=FALSE,type="text")
```

```
# el modg1 es el de mejor ajuste
```

```
modg1
summary(modg1)
```

```
# validaci?n del modelo
```

```
  # Devianza
```

```
D=(636.31-151)/636.31
```

```
D
```

```
  #Colinealidad
```

```
vif(modg1)
```

```
# los residuales se deben aproximar a ji cuadrada
```

```
Pv=1-pchisq(151,1494)
```

```
Pv
```

```
# Graficos de los residuales
```

```
par(mfcol=c(2,2))
```

```
residuals=modg1$residuals
```

```
plot(modg1)
```