



# Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

## Metodología de evaluación de costos de adaptación al cambio climático en Organismos Operadores de Agua (OOPAS)

*INFORME FINAL*

*DP 1240.1*

*JEFE DE PROYECTO*

*M. EN C. HÉCTOR DAVID CAMACHO GONZÁLEZ*

*Jiutepec, Morelos*

*Noviembre, 2012*

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. CAMBIO CLIMÁTICO .....	6
2.1 Cambio climático en los recursos hídricos .....	9
2.1.1 Efectos del Cambio Climático en Zona Norte y Sur de México .....	11
2.2 Cambio climático en Organismos Operadores de Agua.....	15
2.2.1 Efectos del cambio en los Organismos Operadores de Agua .....	19
3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....	23
4. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	28
5. EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	36
5.1 Experiencias en evaluación de costos de adaptación a nivel global.....	41
5.2 Experiencias en evaluación de costos de adaptación a nivel nacional.....	43
5.3 Evaluación de costos en Organismos Operadores de Agua .....	44
6. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	47
6.1 Índice de vulnerabilidad.....	49
6.1.1 Selección de indicadores .....	50
6.1.2 Normalización de datos.....	53
6.1.3 Ponderación.....	54
6.1.4 Agregación .....	54
6.2 Identificación de medidas de adaptación .....	57

6.3 Estimación de la demanda .....	59
6.3.1 Especificaciones del modelo .....	59
6.3.2 Estimación.....	60
6.4 Índice de vulnerabilidad con adaptación .....	65
6.4.1 Grado de exposición.....	65
6.4.2 Sensibilidad .....	65
6.4.3 Capacidad de adaptación .....	69
6.5 Evaluación de costos de adaptación .....	70
7. EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO:	
COMISIÓN ESTATAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE MEXICALI .....	74
7.1 Índice de vulnerabilidad.....	81
7.2 Identificación de medidas de adaptación .....	83
7.3 Estimación de la demanda .....	84
7.4 Índice de vulnerabilidad con adaptación .....	89
Bibliografía .....	101

## 1. INTRODUCCIÓN

Aunque se conocen y han estudiado los fenómenos climáticos, existen alteraciones en los mismos que resultan de gran interés para la sociedad sobre todo cuando estos cambios afectan los diferentes sectores socioeconómicos. Tal es el caso del cambio climático observado en los últimos años, cuyos impactos en el sector de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento han llevado diversos actores a interesarse en el tema.

Si bien el impacto del cambio climático debe analizarse mediante los escenarios climáticos, resulta necesario evaluar sus efectos y la sensibilidad de los elementos expuestos a nivel local a fin de contar con las herramientas que permitan plantear medidas de adaptación, ya que, inevitablemente el cambio climático desafiará las practicas existentes de administración del agua, especialmente en situaciones en las que se cuente con menos experiencia en la incorporación de medidas de planificación y con menos recursos financieros e institucionales.

Este trabajo presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS). De manera general la metodología consta de dos partes; el análisis de vulnerabilidad y el cálculo de costos, la primera permite evaluar la sensibilidad de los organismos operadores ante los impactos potenciales del cambio climático y su capacidad de adaptación basada en la eficiencia física y comercial; la segunda, utiliza la información obtenida en el análisis para determinar las posibles y diferentes opciones para adaptarse a los impactos que se consideran significativos y el costo que implica aumentar la capacidad de respuesta de un organismo operador.

La metodología se aplica específicamente al caso de la ciudad de Mexicali habida cuenta que para distintos escenarios climáticos, en esta ciudad se esperan fuertes incrementos en la temperatura en los próximos veinte años, lo que podría incrementar la vulnerabilidad del organismo operador.

Para una mejor comprensión del reporte, el presente se estructura en siete secciones: las primeras cuatro secciones describen de manera general los efectos del cambio climático en los recursos hídricos del país y organismos operadores de acuerdo a los escenarios proyectados, los principales factores que deben considerarse al evaluar la vulnerabilidad de un organismo operador, así como algunas medidas que permitirían afrontar los cambios impuestos por la variabilidad climática y finalmente la discusión de distintos acercamientos al cálculo de costos de adaptación; en la sección cinco se describe la metodología aplicada, que a su vez se compone de tres partes: la estimación de la demanda de agua potable, el cálculo del índice de vulnerabilidad y el cálculo de costos; la sección seis presenta los resultados numéricos obtenidos con la aplicación de la metodología en la ciudad de Mexicali y finalmente, las conclusiones y las nuevas líneas de investigación que se proponen a partir de los hallazgos de este trabajo.

## 2. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es un fenómeno donde los complejos procesos ambientales que se realizan en la biósfera se han visto alterados por acción del hombre a través de su actividad social y económica. Estas alteraciones han sido acumulativas en el tiempo y en la naturaleza han generado impactos en los diferentes sectores económicos de la sociedad así como en los mismos ecosistemas modificando los procesos de provisión y existencia de distintos bienes y servicios ambientales tales como la regulación del clima en la atmósfera, la infiltración de agua, la existencia de recursos bióticos entre otros.

El cambio climático como problema ambiental global se compone de una serie de transformaciones en el clima que no son naturales y que alteran los componentes del sistema climático (Landa, Ávila, & Hernández, 2010). Por ello, a continuación se hace una descripción del proceso que altera las componentes ambientales a partir de una revisión de distintos autores y fuentes.

La Tierra absorbe radiación solar (radiación de onda corta), principalmente en la superficie, esta energía es redistribuida por circulaciones atmosféricas y oceánicas, e irradiada nuevamente al espacio en longitudes de onda más largas (infrarrojas). Para la media anual y para la Tierra en su conjunto, la energía de la radiación solar que ingresa se equilibra aproximadamente con la radiación terrestre saliente (Magaña R. V., 2004)

Cualquier factor que altere la radiación recibida del Sol o perdida en el espacio, o que altere la redistribución de energía dentro de la atmósfera y entre atmósfera, tierra y océano, puede afectar el clima. Un cambio en la energía radiativa neta disponible para el sistema mundial de Tierra-atmósfera se denomina forzamiento radiativo. Los forzamientos radiativos positivos tienden a calentar la superficie de la Tierra y la atmósfera inferior. Los forzamientos radiativos negativos tienden a enfriarlas (IPCC, 2008).

Algunos gases en el aire pueden de forma temporal absorber luz infrarroja (IR) térmica, estos se denominan **gases de efecto invernadero (GEI)**, de tal manera que no toda la luz IR emitida por la superficie de la tierra y la atmósfera escapa

directamente al espacio (Baird, 2001). Es decir, la atmósfera absorbe más radiación terrestre que se desprende de la superficie y vuelve a emitirla en altitudes superiores y temperaturas más bajas, así se produce un forzamiento radiativo positivo que tiende a calentar la atmósfera inferior y la superficie (IPCC, 2007). Este fenómeno, la redirección del IR térmico hacia la tierra se denomina efecto invernadero, el cual es el responsable que la temperatura media de la superficie sea de 15°C, en lugar de -15°C, que correspondería en caso de no existir los gases atmosféricos que absorben la luz infrarroja (Baird, 2001).

El aumento de los gases de efecto invernadero, puede redireccionar más energía infrarroja térmica hacia la superficie y por tanto, aumentar la temperatura media más allá de 15°C. A este fenómeno se le conoce como efecto invernadero intensificado (o calentamiento global), para distinguir su efecto del fenómeno que ha ido operando de forma natural durante milenios (Baird, 2001). Este efecto invernadero siempre ha existido y es parte de la composición natural de la atmósfera, sin embargo, esta situación normal y natural ha sido alterada artificialmente por el humano debido que la actividad antropogénica ha emitido a la atmósfera dióxido de carbono y gases provenientes de la quema de combustibles fósiles y de la deforestación. Con excepción de los clorofluorocarbonos (CFCS), los gases de efectos invernadero y el dióxido de carbono son componentes naturales del aire, lo que ha hecho el hombre es incrementarlos (Martínez, 2004) lo que conlleva a una mayor concentración de gases con propiedades de atrapar más radiación de la atmósfera.

### **Cambios en el sistema climático**

De acuerdo a datos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático en el 2007 (IPCC, 2007), las siguientes tendencias ilustran un periodo de calentamiento en los últimos años:

- Once de los últimos doce años (1995–2006) se encuentran entre los 12 años más calurosos en los registros instrumentales de la temperatura global en superficie (desde 1850). La tendencia lineal de 100-años actualizada (1906 a 2005) de 0,74°C [0,56°C a 0,92°C].

- Observaciones realizadas desde 1961 muestran que la temperatura media de los océanos del mundo ha aumentado hasta profundidades de, al menos, 3000 m y que el océano está absorbiendo más del 80% del calor añadido al sistema climático. Dicho calentamiento hace que el agua de mar se expanda, lo cual contribuye a elevar el nivel del mar.
- El promedio del contenido de vapor de agua en la atmósfera ha aumentado, al menos desde el decenio de 1980, tanto en tierra como en el océano, así como en la troposfera superior. El aumento concuerda, en líneas generales, con el vapor de agua adicional que puede contener el aire más caliente.
- Los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido como promedio en ambos hemisferios. Las reducciones generalizadas en los glaciares y en los casquetes de hielo han contribuido a la elevación del nivel del mar (los casquetes de hielo no incluyen las contribuciones ni la de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida).
- El nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo medio de 1,8 [1,3 a 2,3] mm anual desde 1961 a 2003. Existe confianza alta de que el ritmo del aumento del nivel del mar observado se haya incrementado del siglo IX al XX. El aumento total estimado del siglo XX es 0,17 [0,12 a 0,22] m.
- Los datos satelitales desde 1978 muestran que la extensión media anual del hielo marino ártico ha disminuido un 2,7 [2,1 a 3,3] % por decenio.
- Los cambios en las precipitaciones y en la evaporación en los océanos son debidos a la menor salinidad de las aguas de latitudes medias y altas, conjuntamente con un aumento de la salinidad de las aguas de latitudes bajas.
- La frecuencia de fenómenos de precipitaciones fuertes se ha incrementado en la mayoría de las áreas terrestres, en concordancia con el calentamiento y los aumentos observados del vapor de agua atmosférico.
- Durante los últimos 50 años, se han observado cambios generalizados en las temperaturas extremas. Cada vez son menos frecuentes los días y las noches fríos y las heladas, mientras que los días y las noches calurosas y las ondas de calor se han vuelto más frecuentes.



Si bien el cambio climático registra alteraciones en el largo plazo, por pequeña que sea la alteración de los procesos naturales del clima repercute en grandes impactos que hoy día se hace evidente como los cambios en la temperatura y la precipitación y aunque el cambio climático es un proceso normal en la naturaleza, el problema es que se ha acelerado por la acumulación de los GEI emitidos por actividades humanas. (Greenpeace, 2010)

## **2.1 Cambio climático en los recursos hídricos**

El cambio climático global representa en la actualidad uno de los principales retos en la humanidad dado los impactos que produce en los componentes ambientales y en las actividades humanas. Anteriormente se ha comentado que el cambio climático es un proceso normal, pero la aceleración de éste a través de las actividades antropogénicas, ha dado origen a una serie de impactos que modifican las condiciones de vida y de producción de bienes y servicios. México no escapa a esta situación, ya que su situación geográfica, condiciones climáticas, orográficas e hidrológicas contribuyen a que sea una de las zonas más vulnerables (Greenpeace, 2010) debido al cambio climático.

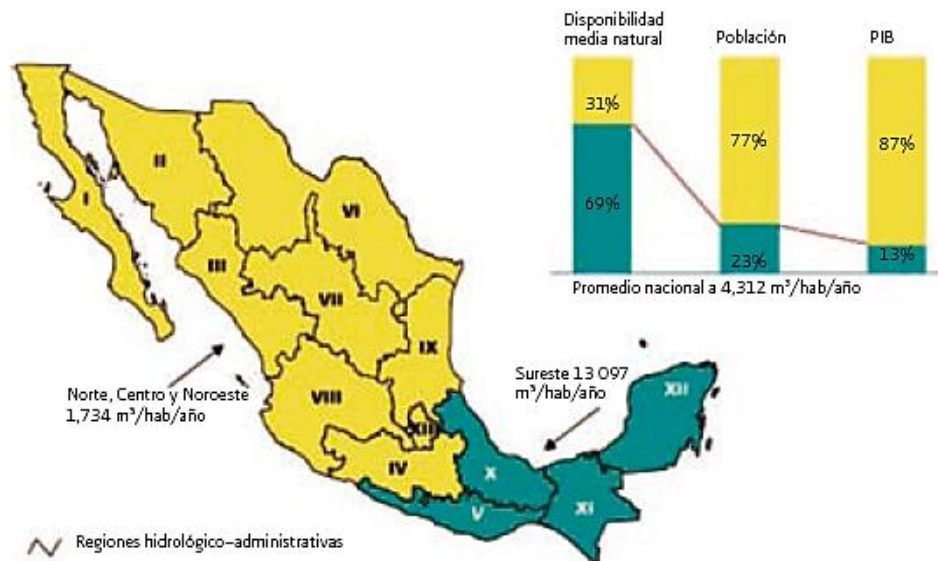
En cuanto a los recursos hídricos; el cambio climático se encuentra asociado a las variaciones de ciertos componentes del ciclo hidrológico y de los sistemas hidrológicos: cambios en las pautas, intensidades y valores extremos de precipitación; fusión generalizada de la nieve y del hielo; aumento del vapor de agua atmosférico; aumento de la evaporación; y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía; lo que consecuentemente sugiere cambios importantes en la disponibilidad de agua (Magaña R. V., 2004).

De acuerdo al IPCC los sistemas hidrológicos están experimentando los efectos siguientes:

- a) aumento de la escorrentía;
- b) adelanto de las fechas de caudal máximo primaveral en numerosos ríos alimentados por glaciares y por nieve;
- c) calentamiento de lagos y ríos en numerosas regiones, con efectos sobre la estructura térmica y sobre la calidad del agua.

Hay que recordar que en México los recursos hídricos son escasos y se distribuyen de manera muy heterogénea en espacio y tiempo.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), existe un contraste regional en el país, considerando los más de 23,000 m<sup>3</sup>/hab/año disponibles en la región hidrológico administrativa XI Frontera Sur; con 164 m<sup>3</sup>/hab/año disponibles en la región XIII Valle de México. Esta gradualidad en la disponibilidad hídrica en México muestra que en regiones donde actualmente existe una escasez del recurso la población que ahí habita se encuentra no solamente bajo una situación de estrés hídrico, también de ser más vulnerables al cambio climático y sus efectos en la precipitación y la temperatura, incidiendo directamente en la demanda como en la disponibilidad de agua.



**Figura 1. Contraste regional entre desarrollo y la disponibilidad del agua, 2007 (CONAGUA, 2008)**

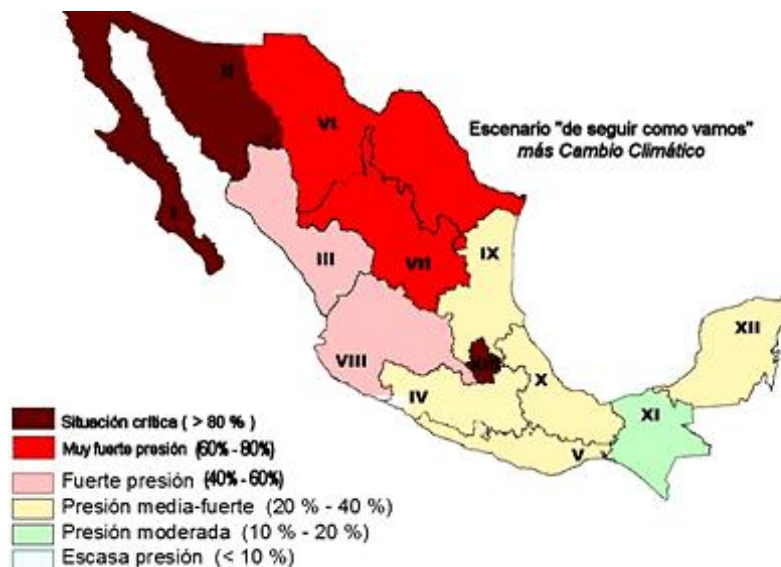
Es de preverse que las zonas urbanas localizadas en las regiones semiáridas de México enfrentarán problemas de abastecimiento de agua, en relación directa con el aumento de su población. Las razones principales estarán en el abatimiento de los acuíferos que tendrán menor recarga debido al aumento en la evapotranspiración bajo un clima más cálido, o en la reducción de los caudales de los ríos que alimentan a grandes centros urbanos.

### 2.1.1 Efectos del Cambio Climático en Zona Norte y Sur de México

Dada esta distribución heterogénea de los recursos hídricos, los efectos del cambio climático contrastan, puesto que existen diferencias entre las regiones. De modo que a continuación se describen los efectos del cambio climático en dos grandes regiones del país; zona norte y sur.

De acuerdo a las estimaciones a nivel nacional se esperan los siguientes cambios (Magaña, Graizbord, & Buenfil Friedman, 2010):

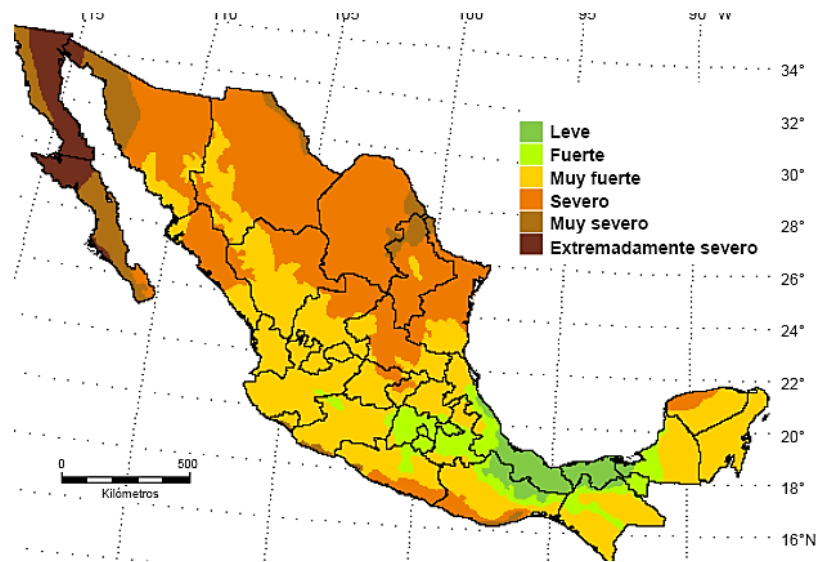
- Un ensamble de las proyecciones de los modelos de circulación general, así como la dispersión entre las proyecciones de temperatura y precipitación para los climas 2020, 2050 y 2080, indican que en general, el clima será más cálido (de 2 a 4°C). Tal condición llevará a una menor disponibilidad natural media del agua por aumento en la evapotranspiración. Las regiones más afectadas en el sector hídrico serán la noroeste y la norte, aunque en todo el país el grado de presión sobre al agua aumentará.



**Figura 2. Escenarios de presión hídrica (Comisión Intersecretarial sobre Cambio Climático, 2006)**

- Tomando como base escenarios para la climatología de 2020, se considera que la disponibilidad natural del agua disminuye por el aumento en la temperatura y evapotranspiración, además de una ligera disminución en la precipitación anual. Esto lleva a una reducción anual de aproximadamente 10%, con respecto a la disponibilidad de 2000.

- Puesto que el ciclo hidrológico se volverá más intenso, las teorías sugieren un aumento en el número de tormentas severas, así como periodos de sequía más severos y prolongados.



**Figura 3. Índice de severidad de la sequía meteorológica. Modelo GFDL-R30 (Hernández, 2008)**

- En el caso de los ciclones tropicales, se espera que, en promedio, su intensidad aumente.

### **Zona Norte, Centro y Noroeste**

- 1) La parte norte de México será la que experimente mayores incrementos de temperatura (Magaña, Graizbord, & Buenfil Friedman, 2010). El balance hídrico sugiere que el aumento en temperatura hará que la evapotranspiración se incremente y que la humedad en el suelo disminuya, lo que traerá por consecuencia mayores requerimientos de agua y por lo tanto que la extracción de agua se incremente.
- 2) Los cambios para las lluvias de invierno indican una disminución de 10 o 15% en regiones del centro de México y en verano las lluvias podrían disminuir hasta 5% (Magaña, Graizbord, & Buenfil Friedman, 2010) lo que provocaría una disminución en el escurrimiento e infiltración del agua hacia los acuíferos, lo que generaría una situación de menor disponibilidad del recurso en el futuro.
- 3) Los escenarios con cambio climático para 2030 muestran que la región Río Bravo continuará con grados fuertes de presión, pero el cambio más

significativo sucede en las regiones Golfo Norte, Golfo Centro, las cuales podrían experimentar una presión de media a fuerte (Comisión Intersecretarial sobre Cambio Climático, 2006). Tanto Baja California como Sonora pasarán a una situación crítica.

- 4) Los recursos hidrológicos más inermes ante el cambio climático serían los de la región central de país, así como los ubicados en la cuenca del Lerma-Chapala-Santiago (Maderey R. & Jiménez R., 2000).
- 5) Aumento del nivel de mar, entre las zonas costeras con mayor vulnerabilidad se encuentran Tamaulipas (laguna deltaica del Río Bravo), y Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan) (Ortiz Pérez & Méndez Linares, 2000).
- 6) Vulnerabilidad a la modificación climática considerando los procesos de desertificación y sequia meteorológica (Hernández Cerda, Torres Tapia, & Valdez Madero, 2000):  
Baja California, Coahuila, Jalisco, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo, tendrían más del 68% de su superficie con un alto grado de vulnerabilidad a la desertificación.  
Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca serían los estados más vulnerables a la sequia meteorológica, afectando en casi 90% de su territorio.
- 7) La disponibilidad de agua se vera reducida y la competencia por dicho recurso podría provocar problemas sociales.

### **Zona Sur-Sureste**

- 1) Vulnerabilidad a la modificación climática considerando los procesos de desertificación y sequia meteorológica (Hernández Cerda, Torres Tapia, & Valdez Madero, 2000):  
El estado de Quintana Roo, con casi 100% de su superficie vulnerable a la sequia, muestra en 99.18% de su territorio un grado moderado de vulnerabilidad a la desertificación en condiciones actuales.  
Campeche y Chiapas serían los estados más vulnerables a la sequia meteorológica afectando en casi 75% de su territorio.
- 2) Los escenarios de cambio climático para 2030 muestran un cambio significativo en el grado de presión de los recursos hídricos de las zonas del

sur y la Península de Yucatán, las cuales podrían experimentar una presión de media a fuerte (Magaña, Graizbord, & Buenfil Friedman, 2010).

- 3) Los cambios para las lluvias de invierno indican una disminución de menos del 5% en la zona costera del Golfo de México (Magaña, Graizbord, & Buenfil Friedman, 2010).
- 4) Aumento del nivel de mar, entre las zonas costeras con mayor vulnerabilidad se encuentran Tabasco (complejo deltaico Grijalva-Mezcapala-Usumacinta), Yucatán (Los Petenes) y Quintana Roo (bahía de Sian Kaán y Chetumal) (Ortiz Pérez & Méndez Linares, 2000).



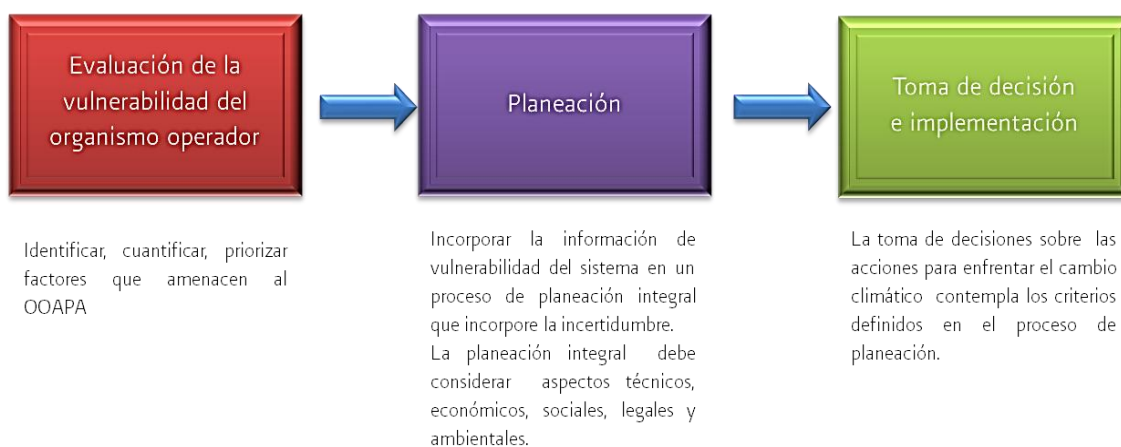
Figura 4. Áreas afectadas por el ascenso del nivel del mar

## 2.2 Cambio climático en Organismos Operadores de Agua

El cambio climático es un fenómeno que impacta a todos los sectores de la economía de los países, sin embargo, existen sectores que pueden ser más sensibles que otros a estos impactos. Uno de ellos es el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento, en donde las entidades encargadas de prestar estos servicios a la población son los organismos operadores.

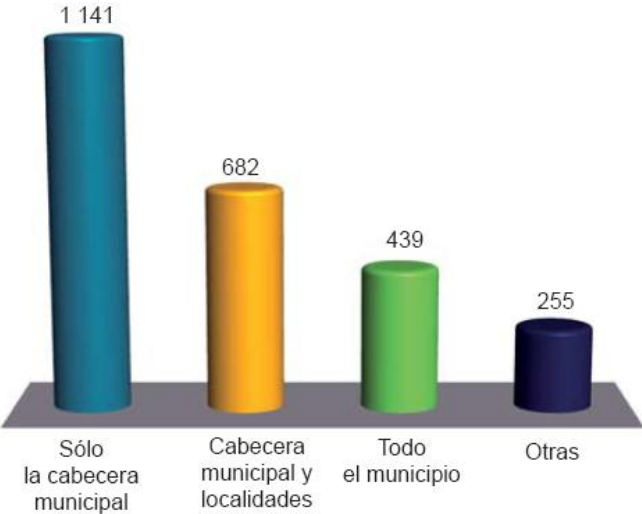
El tema de cambio climático en estas organizaciones hace cuestionar no únicamente la confiabilidad de las fuentes de abastecimiento en cuanto cantidad y calidad; también agrega una variable que no es considerada en la planeación de los organismos operadores por falta de conocimiento en el tema así como por la falta de información para generar sus propios escenarios de cambio climático. Esto coloca a los prestadores de los servicios frente a un dilema de cómo desarrollar a corto y largo plazos, planes que consideren efectos del cambio climático (WUCA, 2010), ya que los efectos potenciales de éste fenómeno impactarán en gran medida a los organismos operadores, poniendo a prueba tanto infraestructura existente como las habilidades de los directivos para asegurar la continuidad de los servicios a la población.

De acuerdo con la Water Utility Climate Alliance, la planeación de los organismos operadores bajo el enfoque del cambio climático y su incertidumbre considera las siguientes etapas:



Es en un proceso como el mencionado anteriormente que la evaluación de los costos se integra para proporcionar elementos que sirvan en la toma de decisión sobre las alternativas de acciones a seguir para adaptarse a los efectos del cambio climático. Cabe mencionar que debido a la gran cantidad de organismos operadores en México y las diferencias de desarrollo entre los mismos, no se conocen los casos donde ya se esté realizando un proceso de planeación como el descrito. No obstante, para identificar los organismos operadores existentes en México y sus características, en los resultados del Censo Económico realizado por el INEGI en 2008, se identificaron 2 517 Organismos Operadores del Agua a nivel nacional, dedicados a la captación, tratamiento y suministro de agua, la mayoría se encuentran trabajando en la administración municipal.

Por el tipo de cobertura geográfica, los organismos operadores de agua tienen mayor presencia en zonas urbanas en respuesta a la concentración de población y actividades económicas que demanda mayor infraestructura para la provisión de servicios de agua. Conforme el Censo Económico, la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento se realiza bajo la distribución que se muestra en la figura 5:



**Figura 5. Organismos Operadores de Agua de acuerdo con cobertura del servicio al 2008 (INEGI, 2011)**

Hasta el Censo Económico de 2004 el número de OOAPAS correspondía a 2366 (INEGI, 2004) que se encontraban distribuidos de la siguiente forma:



**Tabla 1. Unidades de captación, tratamiento y suministro de agua por entidad federativa al 2003 (INEGI, 2004)**

<b>ENTIDAD FEDERATIVA</b>	<b>OOAPAS</b>
Aguascalientes	11
Baja California	*
Baja California Sur	5
Campeche	11
Coahuila de Zaragoza	39
Colima	10
Chiapas	110
Chihuahua	68
Distrito Federal	*
Durango	39
Guanajuato	45
Guerrero	80
Hidalgo	92
Jalisco	115
México	120
Michoacán de Ocampo	119
Morelos	76
Nayarit	29
Nuevo León	*
Oaxaca	524
Puebla	225
Querétaro Arteaga	13
Quintana Roo	8
San Luis Potosí	61
Sinaloa	18
Sonora	72
Tabasco	17
Tamaulipas	42
Tlaxcala	60
Veracruz	184
Yucatán	110
Zacatecas	57
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>2366</b>

\*/Se omite el dato para preservar el principio de confidencialidad

Conforme al listado anterior, puede comentarse que salvo ciertas y contadas excepciones, la situación actual de los OOAPAS en México se caracteriza por el alto e inaceptable nivel de pérdidas físicas y comerciales, lo que redundará en una incapacidad para cubrir los costos de operación y mantenimiento. En general, el sector urbano pierde aproximadamente 43% y las pérdidas totales representan 49% del agua que se extrae para usos consuntivos (Landa, Magaña, & Neri, Agua y Clima: Elementos para la Adaptación al Cambio Climático, 2008). Con el propósito de evaluar el desempeño de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, la CONAGUA, generó un sistema de indicadores que reflejan la

situación de las entidades prestadoras de estos servicios públicos a nivel nacional, la tabla 2 muestra los resultados de los indicadores<sup>1</sup> eficiencia, física, comercial y global para algunas ciudades de México:

**Tabla 2. Eficiencia física, comercial y global (CONAGUA, 2011)**

OOAPAS	EFICIENCIA (%)		
	Física	Comercial	Global
Tijuana	81	96	78
Monterrey	70	95	67
Mexicali	87	75	66
Aguascalientes	64	92	59
Culiacán	63	88	56
Guadalajara	63	89	56
Tlaxcala	56	93	52
Pachuca	53	92	48
Zacatecas	58	82	48
Torreón	53	86	45
Chilpancingo	62	71	44
Hermosillo	63	68	43
Reynosa	58	71	41
Ciudad de México	56	68	38
Xalapa	40	92	37
Tlalnepantla	46	67	31
Tuxtla Gutiérrez	39	78	31
Mérida	35	86	30
Acapulco	34	82	28
Chetumal	37	68	25
Ensenada	79	93	73
Puerto Vallarta	75	98	74

Estos indicadores de gestión de los OOAPAS, muestran su capacidad para prestar los servicios públicos que tienen encomendados bajo un enfoque de eficiencia; observándose en la tabla 2 las diferencias entre las localidades que ahí se indican, siendo la ciudad de Chetumal la que presenta la menor eficiencia global

<sup>1</sup> **La eficiencia física** queda definida como: *volumen de agua facturado/ volumen de agua producido*; **la eficiencia comercial** se define como: *importe recaudado/importe facturado*; y la **eficiencia global** se obtiene: *eficiencia física \* eficiencia comercial*.

de esta muestra (25%). Tijuana se destaca como una de las ciudades con mejor gestión, presentando 78% de eficiencia global.

Considerando estas diferencias entre ciudades es posible sintetizar parte del aspecto del que derivan importantes problemas ambientales como económicos de los organismos operadores, en primer lugar, considerando que una cantidad importante de agua se pierde, entonces no se sabe cuanta exactamente se requiere para satisfacer las necesidades de la población, esto puede motivar un aumento en la producción y como consecuencia el deterioro de las fuentes de agua, en segundo lugar, el agua no contabilizada no se factura, lo cual representa impactos económicos para el organismos ya que sus costos son más elevados de lo que deberían ser.

Por esta razón, si bien, los indicadores son instrumentos que explican el desempeño de los OOAPAS, también pueden relacionarse con la vulnerabilidad al cambio climático asumiendo que habrá impactos en las zonas urbanas de México, complicando aún más la gestión de los organismos operadores debido a los efectos en la infraestructura y su operación.

### **2.2.1 Efectos del cambio en los Organismos Operadores de Agua**

A nivel mundial los problemas son cada vez mayores para la prestación del servicio de distribución de agua. Ello se debe a varias razones, no necesariamente vinculadas al cambio climático.

La falta de agua disponible, una demanda cada vez mayor y más irregular como consecuencia del crecimiento de la población en áreas concentradas, el crecimiento de la urbanización, la mayor intensidad de uso de agua para mejorar el bienestar general, y la necesidad de mejorar la gobernanza del agua, son variables que dificultan enormemente la prestación satisfactoria de los servicios de abastecimiento de agua (IPCC, 2008).

En este contexto, el cambio climático representa simplemente una carga adicional para los servicios de abastecimiento de agua potable. De forma que, incluso sin el cambio climático los sistemas de abastecimiento de agua se enfrentan con el desafío de garantizar el servicio en muchas ciudades.

De forma que, considerando las proyecciones de cambio climático descritas anteriormente para dos grandes regiones del país, Zona Norte-Centro-Noroeste y Zona Sur-Sureste y la clasificación de efectos propuesta por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2010); a continuación se describen algunos de los retos a los que se enfrentará el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento ante la variación del clima.

### SEQUIAS

<p><b>1. Reducción de la recarga de acuíferos</b></p>	<p>El descenso de las precipitaciones y el incremento de la evaporación debido a las altas temperaturas, disminuirán los suministros de agua superficial y la recarga de acuíferos lo que aumentará el riesgo de intrusión salina.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Aumento de los costos de tratamiento y extracción (al aumentar la profundidad de bombeo) de agua.</p>
<p><b>2. Disminución de niveles en lagos y embalses</b></p>	<p>El descenso de las precipitaciones y el incremento de la evaporación debido a las altas temperaturas, disminuirán los niveles en lagos y embalses disminuyendo la disponibilidad en fuentes superficiales.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Dificultad para satisfacer las demandas de agua, especialmente en meses de verano, disminución de los flujos de diseño mínimos requeridos por la infraestructura y aumento de los costos de tratamiento por concentración de contaminantes en el influente</p>
<p><b>3. Cambios en la escorrentía</b></p>	<p>El aumento de la temperatura y el cambio en los patrones de precipitación alterarán la escorrentía estacional. Estos cambios podrían poner a prueba la capacidad de los embalses para mantener los caudales de escurrimiento, lo que podría causar escasez en el verano debido a los largos periodos de temporadas cálidas y secas y comprometer las metas del ecosistema. Del mismo modo una precipitación anual menor dará lugar a la disminución del flujo en diversos lugares, lo que puede ocasionar la concentración de contaminantes.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Disminución en niveles de disponibilidad y aumento de los costos de tratamiento por deterioro de la calidad del agua.</p>

## DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA

<p><b>1. Bajos niveles de flujo y alteración de la calidad del agua</b></p>	<p>Una precipitación menor dará lugar a caudales menores, lo que puede conducir a la disminución de la calidad del agua por la reducción en la dilución de los contaminantes provenientes de descargas puntuales, pérdida en la capacidad de disolución de oxígeno en el agua por reducción de la turbulencia e incremento de la temperatura, así como el incremento en la temperatura del agua por incremento de la temperatura del aire y reducción de caudales lo que favorecería el crecimiento de algas.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Requerimientos adicionales de tratamiento en plantas de potabilización, aumentando la demanda de energía, los costos de operación y capital.</p>
<p><b>2. Intrusión salina en acuíferos</b></p>	<p>El aumento proyectado del nivel del mar combinado con el aumento de la demanda en zonas costeras, puede dar lugar a la intrusión salina en acuíferos costeros y estuarios.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Incremento de los costos de tratamiento en organismos operadores ubicados en zonas costeras o con tomas en estuarios cercanos a la línea de agua salada.</p>
<p><b>3. Alteración de la calidad del agua superficial</b></p>	<p>Los procesos biológicos de tratamiento de agua pueden verse afectados por cambios en la eficiencia de las floraciones microbianas, debido al alto contenido de algas y las temperaturas del influente en días calurosos.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Requerimiento de procesos adicionales de tratamiento que darían lugar a una mayor demanda de energía, costos operativos y nuevas inversiones.</p>

## INUNDACIONES

<p><b>1. Flujos altos e inundaciones</b></p>	<p>Las inundaciones tendrán un efecto negativo en la infraestructura además de tener un efecto en la calidad del agua al incrementar el arrastre de partículas suspendidas y por ende un aumento de la turbiedad.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Aumento de los costos de tratamiento e impactos directos en la infraestructura de servicios, tales como plantas de tratamiento, instalaciones de entrada, transporte de agua y sistemas de distribución además de conducir al desbordamiento en los sistemas combinados y agravar la capacidad de los sistemas de alcantarillado separado que ya podrían verse afectados por el influente e infiltración.</p>
<p><b>2. Tormentas costeras</b></p>	<p>Las tormentas tendrán un efecto directo en la infraestructura y aumentar el riesgo de intrusión salina.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b> Las plantas de potabilización no suelen ser tan vulnerables como las plantas de aguas residuales, ya que a menudo se encuentran en elevaciones más altas. Sin embargo, las plantas desaladoras, serían vulnerables al incremento del nivel del mar y las mareas. La intrusión de agua salada en los sistemas de drenaje de aguas residuales puede provocar contraflujos o requerir mayores costos de bombeo.</p>

## CAMBIOS EN EL ECOSISTEMA

<p><b>1. Pérdida de relieve costero y humedales</b></p>	<p>La pérdida de humedales costeros puede reducir la barrera contra las tormentas costeras.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b></p> <p>Aumento del riesgo por daño en plantas de tratamiento e infraestructura costera, como las instalaciones de conducción y sistemas de distribución, lo que a su vez causará la interrupción del servicio.</p>
<p><b>2. Incremento del riesgo de incendios y alteración de la vegetación</b></p>	<p>El escurrimiento y las inundaciones repentinas en zonas que presentaron incendios, incrementará la sedimentación en reservorios, reduciendo su capacidad y eficiencia ya que un incremento en la carga de contaminantes, como metales pesados y nutrientes, genera altos niveles de turbiedad y crecimiento de algas.</p> <p>Los cambios en la vegetación en zonas de recarga de acuíferos, disminuye la cantidad y calidad de los escurrimientos en dichas zonas, además de que junto con la presencia de lluvias y sequías, causa mayores tasas de erosión y mayor degradación en cuencas lo que ocasiona deterioro en la calidad del agua superficial (sedimentos, nutrientes, etc.) y reduce la capacidad de almacenamiento en las presas.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b></p> <p>Aumento de los costos de tratamiento, disminución de la disponibilidad de agua y posibles daños en infraestructura por riesgo de incendios.</p>

## DEMANDA Y USOS DEL SERVICIO

<p><b>1. Cambios en volumen y temperatura</b></p>	<p><b>Implicaciones para OOPAS:</b></p> <p>Reducción de los suministros disponibles para sistemas de agua que dependen de las aguas superficiales, así como de las aguas subterráneas, lo que conduciría a la interrupción del servicio, además de presentarse un aumento de la demanda sobre todo en periodos de sequía, aumento de los costos de tratamiento asociados con la disminución de la calidad del agua superficial y subterránea.</p>
<p><b>2. Cambios en la demanda de agua en el sector agrícola</b></p>	<p>Cambios en la demanda y usos de agua que podrían dar lugar a un nivel de presión en los recursos hídricos mayor al actual.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b></p> <p>Disminución de la disponibilidad y deficiencias en el suministro de agua en particular en periodos de verano.</p>
<p><b>3. Cambios en las necesidades del sector energético y demanda de energía en OOPAS</b></p>	<p>Incremento de la demanda de energía y agua como resultado de los futuros cambio climáticos considerando que estos probablemente sean más significativos durante el verano cuando se presenta la demanda pico en agua y energía.</p> <p><b>Implicaciones para OOPAS:</b></p> <p>Mayores costos de operación, frecuentes periodos de pérdida de energía y escasez de agua.</p>

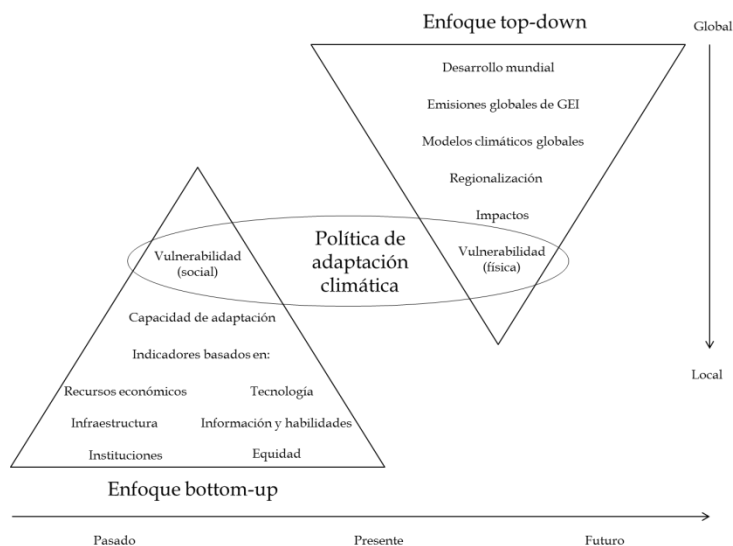
### 3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es definida como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos (IPCC, 2007). La vulnerabilidad dependerá de tres factores:

- a) *El grado de exposición*: se refiere a la magnitud y escala de variación del clima al cual se está expuesto;
- b) *La sensibilidad*: es el nivel de susceptibilidad de un sistema a los efectos del cambio climático;
- c) *Capacidad de adaptación*: es la habilidad de un sistema para ajustarse a diversos efectos del cambio climático con el propósito de aprovechar potenciales beneficios o bien, afrontar los retos que se impongan.

Esta definición asume implícitamente que cuanto mayor sea el conjunto de acciones encaminadas a la mitigación y adaptación, menor será la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. En este sentido, el sector de servicios de agua potable y alcantarillado presenta un desafío importante para lograr que en la gestión de los organismos operadores de agua en México se considere la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático para que se desarrollen acciones de corto-mediano plazo para adaptarse a los efectos del cambio climático pero también, generen acciones de mitigación que ofrezcan resultados en el largo plazo.

Para identificar la vulnerabilidad de un organismo operador pueden aplicarse dos enfoques (Danilenko, Dickson, & Jacobsen, 2010): “*top down*” y “*bottom up*” a través de los cuales se analizan los principales factores que hagan susceptible aun organismo operador ante escenarios de cambio climático, es decir, se basan en una *evaluación de la vulnerabilidad*.



**Figura 6. Atributos de enfoque para evaluar la vulnerabilidad (Dessai & Hulme, 2004)**

**Enfoque “bottom up”:** ha sido diseñado como una ruta para determinar los impactos del cambio climático en sistemas de agua, la idea central de este enfoque es que las empresas pueden trabajar con sus propios modelos de planeación de recursos hídricos, a fin de evaluar la vulnerabilidad de sus planes de suministro dentro de 20 o 50 años debido a los impactos del cambio climático (Cromwell, Smith, & Raucher, 2007).

Basados en los resultados generales de las investigaciones en materia de cambio climático, las empresas pueden identificar la probabilidad de rutas causa-efecto que podrían afectarle. Del mismo modo los modelos desarrollados con los recursos hídricos propios pueden ser aplicados para examinar los escenarios extremos, considerando decrementos en la recarga de acuíferos, incrementos de pérdidas por evaporación y cambio estacionales (Cromwell, Smith, & Raucher, 2007).

De este modo el enfoque “bottom up”, permite que las empresas de agua evalúen sus planes actuales y valoren el efecto del cambio climático en los mismos, de forma que evalúen su propia capacidad de adaptación ante los fenómenos climáticos.

**Enfoque “top down”:** esta metodología está caracterizada por el uso de Modelos de Circulación General (MCG) a nivel regional (Danilenko, Dickson, & Jacobsen,



2010). Se enfocan en la evaluación de los riesgos a largo plazo del cambio climático; sus principales elementos son los escenarios de cambio climático y los escenarios de base socioeconómica y ambiental (UNFCCC, 2007).

Uno de los problemas que existen con este enfoque es la escala de los modelos de cambio climático ya que la información es generalmente proporcionada de manera mensual con resoluciones espaciales de varios miles de kilómetros cuadrados (Danilenko, Dickson, & Jacobsen, 2010), lo que dificulta su aplicación de manera puntual.

Los MCG simulan ciertos parámetros climáticos a futuro, tales como la concentración del dióxido de carbono, como resultado de diferentes escenarios del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC *por sus siglas en inglés*). Los resultados de un MCG se presentan mediante una resolución espacial y temporal del sistema climático. Es decir mediante una malla de puntos o grid, cuyas coordenadas geográficas se encuentran uniformemente distribuidas, usualmente a una distancia de 2.5° o 1° (latitud y longitud). En cada punto, los MCG pronostican un valor de alguna variable atmosférica (usualmente precipitación y/o temperatura) (Rivas, Güitron de los Reyes, & Ballinas, 2010).

Un claro ejemplo de la aplicación de dichos modelos es el proyecto desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), denominado “*Atlas de Vulnerabilidad Hídrica de México ante el Cambio Climático*” (Martínez Austria & Patiño Gómez, 2010), dicho proyecto tuvo como objetivo generar escenarios de cambio climático con mayor resolución que los planteados por el IPCC para poder valorar efectos del cambio climático en el territorio nacional, destacando análisis de vulnerabilidad hídrica para algunas regiones hidrológicas y la determinación de índices de vulnerabilidad social. Entre los trabajos publicados, se destaca “*Escenarios climáticos en México proyectos para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima*” y “*Vulnerabilidad hídrica global: aguas superficiales*” que evalúa el efecto del cambio climático en los escurrimientos superficiales en tres de las principales cuencas nacionales, al norte de México la cuenca del río Conchos, al centro la cuenca Lerma-Chapala y al sur la cuenca del río Grijalva y que a partir de los escurrimientos y

considerando la definición de vulnerabilidad planteada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático identifica las regiones más vulnerables.

El estudio se basó en la ponderación de 23 modelos de circulación general utilizando el método Reliability Ensemble Averaging (REA); a fin de lograr la regionalización de los datos de precipitación y temperatura de superficie bajo los escenarios de cambio climático A1B y A2 hasta finales del siglo XXI en una malla regular de 0.5° x 0.5°.

Finalmente los resultados mostraron tendencias claras en cuanto a los patrones anuales de precipitación, indicando que en las tres cuencas bajo estudio, el escurrimiento medio anual tenderá a disminuir.

La desventaja de dichos modelos radica en la escala, ya que estos proporcionan solo un promedio del cambio climático para cada cuadrícula, y los climas reales pueden variar considerablemente dentro de varios cientos de kilómetros.

Aun considerando las diferencias entre estos dos enfoques, no significa que ambos sean contradictorios; de hecho, son complementarios en términos de políticas, pero son claramente diferentes en cuanto a los requerimientos de información climática (Dessai & Hulme, 2004).

De acuerdo a estos dos enfoques, diversas empresas de agua han comenzado a evaluar el potencial de vulnerabilidad de sus sistemas ante escenarios como el cambio climático, algunas de estas evaluaciones (EPA, 2011) han sido analizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos quien describe los enfoques tomados por diversas empresas de agua para evaluar su vulnerabilidad ante el cambio climático e ilustra la forma en que las empresas de agua pueden entender y responder a riesgos climáticos. Otros ejemplos más detallados (EPA, 2010) son descritos por la misma agencia identificando y categorizando las técnicas y modelos en sistemas de agua que han evaluado su vulnerabilidad al cambio climático y que en su mayoría se enfocan a la evaluación de la cantidad y demanda de agua. En cada caso de estudio, la incertidumbre que implica el cambio climático es compensada evaluando diversos modelos y escenarios de forma que en la mayoría de los casos, la información resultante se utiliza para

sustentar la toma de decisiones o planificación ante escenarios futuros desfavorables.

El problema de determinar los impactos del cambio climático particularmente de México es la falta de información apropiada para llevar a cabo los análisis, tanto desde la perspectiva de series de datos largas y confiables, hasta la desagregación de la información al nivel que se requiere. Sin embargo, es importante que estudios de esta naturaleza se reproduzcan para buscar diferentes maneras de analizar el problema y con ello mejorar el tipo de información y conocimiento que se tenga disponible para la toma de decisiones (Soto Montes de Oca & Herrera Pantoja, 2009).

Generalmente las evaluaciones de vulnerabilidad usan una variedad de herramientas y modelos que desarrollan y reflejan la situación de un sistema de agua en particular, por lo que no existe actualmente una única herramienta que evalúe la vulnerabilidad en sistemas de agua ante fenómenos como el cambio climático.

## 4. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Es importante reconocer que ante los efectos del cambio climático, cualquier respuesta eficaz al cambio climático tendrá que combinar dos aspectos: mitigación y adaptación. Si bien es cierto que cuanto mayor es el esfuerzo global para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero, menor será la necesidad de adaptarse al cambio climático, sin embargo ambos serán necesarios (World Bank, 2008).

El concepto de adaptación se entiende como el conjunto de iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humano ante los efectos reales o esperados de un cambio climático (IPCC, 2007). La mitigación es la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases efecto invernadero y a potenciar los sumideros (IPCC, 2007).

A pesar que la mitigación y adaptación al cambio climático son claramente complementarias, difieren en aspectos importantes. Por un lado, los beneficios de la mitigación se espera que sean globales y a largo plazo, mientras que las inversiones en acciones de adaptación se espera que sean locales y a corto o mediano plazo. En consecuencia, mientras que la mitigación requiere una acción colectiva a nivel mundial y por lo tanto la solución de inmensos desafíos políticos, la adaptación se puede abordar a través de acciones locales (World Bank, 2008).

En la literatura existen numerosas tipologías para clasificar las medidas de adaptación, de forma que se pueden clasificar de acuerdo al tiempo (anticipada o reactiva); a la visión (local vs. regional o corto plazo vs. largo plazo); al propósito (autónomo vs. planificado); y al agente adaptado.

Para fines de este estudio, se plantean una serie de medidas planteadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, por lo que las medidas propuestas pueden ser aplicadas parcial o totalmente de acuerdo a las necesidades y retos a los cuales se tendrá que enfrentar un OOPA en particular.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2010), plantea un conjunto de medidas de adaptación, que se han categorizado en cinco diferentes grupos que permitan afrontar estos retos: sequías, inundaciones,

deterioro de la calidad del agua, cambios en el ecosistema y demanda y usos del servicio.

Cada grupo presenta un conjunto de impactos y una descripción de las posibles medidas de adaptación aplicables a los retos e impactos de cada grupo.

Las medidas de adaptación que se incluyen son:

1. Estrategias de planificación: consideran el uso de modelos, investigación, formación, planificación de la oferta y la demanda, gestión de los recursos naturales, planeación del uso de suelo y acciones de colaboración a escala de cuencas hidrográficas y comunidades.

2. Estrategias operacionales: consideran mejoras en los niveles de eficiencia, monitoreo, inspecciones, conservación, gestión de la demanda, operaciones flexibles y estrategias de sustentabilidad.

3. Estrategias de inversión e infraestructura: consideran la construcción, diversificación de los recursos hídricos, reparaciones, mejoras y actualizaciones, construcción por etapas, adopción de nuevas tecnologías e infraestructura verde.



**Tabla 3. Medidas de adaptación. Sequias (EPA, 2010)**

**SEQUIAS**

<b>Planeación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Desarrollar modelos que permitan comprender los posibles cambios en la calidad del agua y los costos que resultarían por los cambios en el tratamiento.</li> <li>❖ Incorporar las proyecciones de cambio climático en el modelaje de acuíferos.</li> <li>❖ Hacer uso de los modelos hidrológicos para proyectar los escurrimientos a fin de incorporar los resultados durante la planificación del suministro de agua.</li> <li>❖ Incluir los impactos del cambio climático y posibles medidas de adaptación a la formación del personal.</li> <li>❖ Participar en acciones de planeación dentro de la comunidad y colaboraciones regionales relacionadas con cambio climático.</li> <li>❖ Monitoreo de las condiciones actuales del clima, incluyendo precipitación y temperatura.</li> </ul>
<b>Operación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Financiar y facilitar la implementación de sistemas de reúso de agua, incluyendo el uso de aguas grises en casas y comercios.</li> <li>❖ Reducir la demanda de agua para actividades agrícolas instalando equipos de riego con tecnología avanzada.</li> <li>❖ Gestionar la demanda a través de la comunicación con el público y acciones de conservación del recurso.</li> <li>❖ Conservación del agua y gestión de la demanda a través de la medición y aplicación de descuentos por la conservación del mismo.</li> </ul>
<b>Inversión e infraestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Manejo integral de ecosistemas, tales como las cuencas forestales, franjas de vegetación y humedales a fin de regular los escurrimientos.</li> <li>❖ Construcción de la infraestructura necesaria para el almacenamiento y recuperación de acuíferos (ya sea almacenamiento temporal o bancos de agua a largo plazo).</li> <li>❖ Diversificación de las fuentes de suministro actual de agua, incluyendo reúso de agua, desalinización y captación de aguas pluviales.</li> <li>❖ Ampliación de los recursos actuales a través del desarrollo de conexiones regionales que permitan el comercio de agua en tiempos de interrupción del servicio o escasez.</li> <li>❖ Incremento de la capacidad de almacenamiento de agua, incluyendo la remoción de sedimentos para expandir la capacidad de los embalses existentes y construcción de nuevos embalses y/o presas.</li> <li>❖ Aumentar o modificar las capacidades de tratamiento, a fin de hacer frente a cambios en la calidad del agua de nuevas fuentes de abastecimiento.</li> <li>❖ Regular la demanda a fin de adaptarse a los bajos niveles en embalses y el decremento de los flujos estacionales.</li> <li>❖ Construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales para su uso en industrias, energía, agricultura u hogares.</li> </ul>

**Tabla 4. Medidas de adaptación. Alteración de la calidad del agua (EPA, 2010)**

**ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA**

<p><b>Planeación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Actualización de los modelos y planes de manejo y control de fuego en zonas propensas a incendios debido a las condiciones climáticas proyectadas.</li> <li>❖ Aplicar los resultados de modelos de aumento del nivel del mar y tormentas costeras en mapas que permitan observar las inundaciones y estimar la intrusión salina en acuíferos y estuarios a fin de incluir dicha información en las actividades de planeación.</li> <li>❖ Desarrollar modelos que permitan comprender los posibles cambios en la calidad del agua y los costos que resultarían por los cambios en el tratamiento.</li> <li>❖ Modelado de las condiciones de acuíferos considerando la intrusión salina asociada al aumento del nivel del mar y evaluar la viabilidad de implementar barreras contra la intrusión salina.</li> <li>❖ Incluir los impactos del cambio climático y posibles medidas de adaptación a la formación del personal.</li> <li>❖ Participar en acciones de planeación dentro de la comunidad y colaboraciones regionales relacionadas con cambio climático.</li> </ul>
<p><b>Operación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Implementar los planes de manejo de fuego en cuencas, tales como control de malezas, fuegos controlados y creación de brechas corta fuego.</li> <li>❖ Controlar la calidad de embalses a través de la inversión en prácticas como la aireación a fin de minimizar la proliferación de algas debido a las altas temperaturas.</li> <li>❖ Monitorear de las condiciones actuales del clima, incluyendo precipitación y temperatura así como las condiciones del agua superficial, incluyendo la calidad del agua en cuerpos receptores.</li> <li>❖ Monitorear los cambios de vegetación en las cuencas hidrológicas.</li> <li>❖ Financiar y facilitar la implementación de sistemas de reúso de agua, incluyendo el uso de aguas grises en casas y comercios, para reducir las descargas a cuerpos receptores.</li> <li>❖ Reducir la demanda de agua para actividades agrícolas instalando equipos de riego con tecnología avanzada.</li> <li>❖ Conservación del agua y gestión de la demanda a través de la medición y aplicación de descuentos por la conservación del mismo.</li> </ul>
<p><b>Inversión e infraestructura</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Manejo integral de ecosistemas, tales como las cuencas forestales, franjas de vegetación y humedales a fin de regular los escurrimientos.</li> <li>❖ Implementar prácticas de manejo en cuencas para limitar el escurrimiento de contaminantes a los embalses.</li> <li>❖ Implementar o adaptar medidas de control en fuentes de plantas de tratamiento en caso de alteración del flujo calidad del influente.</li> <li>❖ Ampliación de los recursos actuales a través del desarrollo de conexiones regionales que permitan el comercio de agua en tiempos de interrupción del servicio o escasez.</li> <li>❖ Diversificación de las fuentes de suministro actual de agua, incluyendo reúso de agua, desalinización y captación de aguas pluviales.</li> <li>❖ Incremento la capacidad de almacenamiento de agua, incluyendo la remoción de sedimentos para expandir la capacidad de los embalses existentes y construcción de nuevos embalses y/o presas.</li> <li>❖ Instalar presas de baja presión para separar la cuña salina de las tomas aguas arriba en el deposito de agua dulce.</li> <li>❖ Implementar barreras y recarga de acuíferos para limitar los efectos de la intrusión salina. Considerar el uso de agua regenerada como barrera de intrusión salina.</li> <li>❖ Aumentar la capacidad de recolección, tratamiento y descarga de aguas residuales y pluviales.</li> <li>❖ Instalar sistemas de enfriamiento en el efluente.</li> </ul>

**Tabla 5. Medidas de adaptación. Inundaciones (EPA, 2010)**

**INUNDACIONES**

<p><b>Planeación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Integración de la modelación de inundaciones en los planes de uso de suelo.</li> <li>❖ Llevar a cabo análisis de eventos de precipitación extrema para comprender los riesgos de impacto en los sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales.</li> <li>❖ Aplicar los resultados de modelos de aumento del nivel del mar y tormentas costeras en mapas que permitan observar las inundaciones y estimar la intrusión salina en acuíferos y estuarios a fin de incluir dicha información en las actividades de planeación.</li> <li>❖ Desarrollar modelos que permitan comprender los posibles cambios en la calidad del agua y los costos que resultarían por los cambios en el tratamiento.</li> <li>❖ Ampliación de los recursos actuales a través del desarrollo de conexiones regionales que permitan el comercio de agua en tiempos de interrupción del servicio o escasez.</li> <li>❖ Plan de suministro de energía alterna para apoyar las operaciones en caso de pérdida de energía.</li> <li>❖ Adoptar mecanismos de aseguramiento y otros instrumentos financieros, como bonos de catástrofe para proteger a los organismos contra pérdidas financieras asociadas a la pérdida de infraestructura.</li> <li>❖ Incluir los impactos del cambio climático y posibles medidas de adaptación a la formación del personal.</li> <li>❖ Participar en acciones de planeación dentro de la comunidad y colaboraciones regionales relacionadas con cambio climático.</li> <li>❖ Implementar políticas y procedimientos para reparaciones de daños después de las inundaciones.</li> </ul>
<p><b>Operación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Monitoreo de las condiciones del agua superficial, como caudales y calidad del agua.</li> <li>❖ Monitoreo e inspección de integridad de la infraestructura existente.</li> <li>❖ Monitoreo de las condiciones actuales del clima, incluyendo precipitación y temperatura.</li> <li>❖ Monitoreo de la calidad del agua y establecimiento de una línea base que permita evaluar la posible relación entre la calidad del agua y los últimos fenómenos meteorológicos y/o tendencias del clima.</li> </ul>
<p><b>Inversión e infraestructura</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Manejo integral de ecosistemas, tales como las cuencas forestales, franjas de vegetación y humedales a fin de amortiguar las inundaciones, regular niveles de sedimentos y nutrientes en flujos de agua.</li> <li>❖ Establecer medios de protección contra las inundaciones, por ejemplo, muros de contención, diques y puertas retráctiles.</li> <li>❖ Implementar o adaptar medidas de control en fuentes de plantas de tratamiento en caso de alteración del flujo calidad del influente.</li> <li>❖ Diversificación de las fuentes de suministro actual de agua, incluyendo reúso de agua, desalinización y captación de aguas pluviales.</li> <li>❖ Ampliación de los recursos actuales a través del desarrollo de conexiones regionales que permitan el comercio de agua en tiempos de interrupción del servicio o escasez.</li> <li>❖ Incremento de la capacidad de almacenamiento de agua, incluyendo la remoción de sedimentos para expandir la capacidad de los embalses existentes y construcción de nuevos embalses y/o presas.</li> <li>❖ Establecimiento de suministros de energía alterna para apoyar las operaciones en caso de pérdida de energía.</li> <li>❖ Aumentar la capacidad de recolección, tratamiento y descarga de aguas residuales y pluviales.</li> <li>❖ Aumentar la capacidad de tratamiento para hacer frente a los cambios de calidad del agua.</li> </ul>



**Tabla 6. Medidas de adaptación. Cambios en el ecosistema (EPA, 2010)**

**CAMBIOS EN EL ECOSISTEMA**

<p><b>Planeación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Estudio de respuesta de humedales a oleadas por tormentas.</li> <li>❖ Actualización de los modelos y planes de manejo y control de fuego para incorporar los cambios en la frecuencia, magnitud y alcance de los mismos debido a las condiciones climáticas proyectadas.</li> <li>❖ Aplicar los resultados de modelos de aumento del nivel del mar y tormentas costeras en mapas que permitan observar las inundaciones a fin de incluir dicha información en las actividades de planeación física del organismo operador y planes uso de suelo.</li> <li>❖ Desarrollar modelos que permitan comprender los posibles cambios en la calidad del agua y los costos que resultarían por los cambios en el tratamiento.</li> <li>❖ Plan de suministro de energía alterna para apoyar las operaciones en caso de pérdida de energía.</li> <li>❖ Adoptar mecanismos de aseguramiento y otros instrumentos financieros, como bonos de catástrofe para proteger a los organismos contra pérdidas financieras asociadas a la pérdida de infraestructura.</li> <li>❖ Incluir los impactos del cambio climático y posibles medidas de adaptación a la formación del personal.</li> <li>❖ Desarrollar planes de restauración costera, incluyendo islas barrera, humedales costeros y dunas.</li> <li>❖ Integrar los riesgos relacionados con el clima en los planes de mejora a fin de hacer frente a los riesgos actuales y futuros por aumento del nivel de mar y tormentas.</li> <li>❖ Implementar políticas y procedimientos para reparaciones de daños después de las inundaciones.</li> </ul>
<p><b>Operación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Implementar los planes de manejo de fuego en cuencas, tales como control de malezas, fuegos controlados y creación de brechas corta fuego.</li> <li>❖ Monitoreo de las condiciones actuales del clima, incluyendo precipitación y temperatura.</li> <li>❖ Monitoreo e inspección de integridad de la infraestructura existente.</li> <li>❖ Monitoreo de las condiciones del agua superficial, como caudales y calidad del agua.</li> <li>❖ Monitorear los cambios de vegetación en las cuencas hidrológicas.</li> </ul>
<p><b>Inversión e infraestructura</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Manejo integral de ecosistemas, tales como las cuencas forestales, franjas de vegetación y humedales a fin de amortiguar las inundaciones regular niveles de sedimentos y nutrientes en flujos de agua.</li> <li>❖ Establecer medios de protección contra las inundaciones, por ejemplo, muros de contención, diques y puertas retráctiles.</li> <li>❖ Implementar o adaptar medidas de control en fuentes de plantas de tratamiento en caso de alteración del flujo calidad del influente.</li> <li>❖ Construcción de barreras contra inundaciones, presas de control, diques y toda la estructura relacionada con protección a la infraestructura.</li> <li>❖ Diversificación de las fuentes de suministro actual de agua, incluyendo reúso de agua, desalinización y captación de aguas pluviales.</li> <li>❖ Ampliación de los recursos actuales a través del desarrollo de conexiones regionales que permitan el comercio de agua en tiempos de interrupción del servicio o escasez.</li> <li>❖ Incremento la capacidad de almacenamiento de agua, incluyendo la remoción de sedimentos para expandir la capacidad de los embalses existentes y construcción de nuevos embalses y/o presas.</li> <li>❖ Establecimiento de suministros de energía alterna para apoyar las operaciones en caso de pérdida de energía.</li> <li>❖ Implementar barreras y recarga de acuíferos para limitar los efectos de la intrusión salina.</li> <li>❖ Aumentar la capacidad de tratamiento para hacer frente a los cambios de calidad del agua.</li> </ul>

**Tabla 7. Medidas de adaptación. Demanda y usos del servicio (EPA, 2010)**

<b>DEMANDA Y USOS DEL SERVICIO</b>	
<b>Planeación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Desarrollar modelos que permitan comprender los posibles cambios en la calidad del agua y los costos que resultarían por los cambios en el tratamiento.</li> <li>❖ Modelación de sistemas de alcantarillado para comprender los impactos de los altos niveles de infiltración de aguas subterráneas en la capacidad de la planta y costos operativos.</li> <li>❖ Hacer uso de los modelos hidrológicos para proyectar los escurrimientos a fin de incorporar los resultados durante la planificación del suministro de agua.</li> <li>❖ Plan de suministro de energía alterna para apoyar las operaciones en caso de pérdida de energía.</li> <li>❖ Incluir los impactos del cambio climático y posibles medidas de adaptación a la formación del personal.</li> <li>❖ Desarrollar planes de gestión energética para instalaciones clave.</li> <li>❖ Participar en acciones de planeación dentro de la comunidad y colaboraciones regionales relacionadas con cambio climático.</li> <li>❖ Actualización de planes de contingencia para sequías.</li> <li>❖ Establecer una relación con la compañía eléctrica local y trabajar conjuntamente en estrategias para reducir los picos de la demanda estacional de agua y energía.</li> <li>❖ Trabajar con compañías eléctricas para evaluar la viabilidad de utilizar agua tratada o métodos alternativos para satisfacer las necesidades de refrigeración de centrales eléctricas.</li> <li>❖ Modelación de la demanda de agua en la agricultura bajo diferentes escenarios de cambio climático y tipos de cultivos. Considerar la evaluación del uso de agua tratada para riego.</li> <li>❖ Comprensión de los modelos existentes de demanda regional de energía bajo futuros escenarios de cambio climático y crecimiento regional.</li> </ul>
<b>Operación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Llevar a cabo pruebas de estrés en sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales para evaluar la tolerancia al calor.</li> <li>❖ Monitoreo de las condiciones actuales del clima, incluyendo precipitación y temperatura.</li> <li>❖ Monitorear las condiciones del agua superficial, incluyendo la calidad del agua en cuerpos receptores.</li> <li>❖ Financiar y facilitar la implementación de sistemas de reúso de agua, incluyendo el uso de aguas grises en casas y comercios.</li> <li>❖ Mejora de la eficiencia energética en operaciones (ejemplo, instalar sistemas de bombeo de mayor eficiencia energética)</li> <li>❖ Optimización de las operaciones mediante la restricción de algunas actividades de alto consumo energético en tiempos de verano a fin de reducir la demanda de energía y trabajar con compañías eléctricas en la fijación de precios en temporadas bajas.</li> <li>❖ Reducir la demanda de agua para actividades agrícolas instalando equipos de riego con tecnología avanzada.</li> <li>❖ Prácticas de conservación del agua y gestión de la demanda para reducir la demanda de energía y los costos asociados.</li> <li>❖ Prácticas de gestión de la demanda a través de la comunicación al público de acciones de conservación del agua.</li> <li>❖ Conservación del agua y gestión de la demanda a través de la medición del recurso y aplicación de descuentos por la conservación del mismo.</li> </ul>

**Tabla 7. Medidas de adaptación. Demanda y usos del servicio (EPA, 2010) (Continuación)**

<b><i>Inversión e infraestructura</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Manejo de ecosistemas, como humedales costeros a fin de atenuar el impacto del oleaje, tormentas e inundaciones.</li><li>❖ Manejo integral de ecosistemas, tales como las cuencas forestales, franjas de vegetación y humedales a fin de regular los escurrimientos.</li><li>❖ Manejo integral de ecosistemas, tales como las cuencas forestales, franjas de vegetación y humedales a fin de amortiguar las inundaciones regular niveles de sedimentos y nutrientes en flujos de agua.</li><li>❖ Reducir el influente e infiltración en sistemas de alcantarillado a través del incremento de medidas de control para disminuir el volumen de agua bombeada y tratada.</li><li>❖ Construcción de la infraestructura necesaria para el almacenamiento y recuperación de acuíferos (ya sea almacenamiento temporal o bancos de agua a largo plazo).</li><li>❖ Diversificar las opciones para complementar el suministro actual de agua, a fin de incluir aquellas que requieren menor energía para el tratamiento, transporte y distribución.</li><li>❖ Diversificación de las fuentes de suministro actual de agua, incluyendo reúso de agua, desalinización y captación de aguas pluviales.</li><li>❖ Ampliación de los recursos actuales a través del desarrollo de conexiones regionales que permitan el comercio de agua en tiempos de interrupción del servicio o escasez.</li><li>❖ Incremento de la capacidad de almacenamiento de agua, incluyendo la remoción de sedimentos para expandir la capacidad de los embalses existentes y construcción de nuevos embalses y/o presas.</li><li>❖ Aumentar la capacidad de recolección, tratamiento y descarga de aguas residuales y pluviales.</li><li>❖ Aumentar la capacidad de tratamiento para hacer frente a los cambios de calidad del agua y hacer frente a requerimientos de tratamiento más estrictos.</li><li>❖ Instalar sistemas de enfriamiento en el efluente.</li><li>❖ Regular la demanda a fin de adaptarse a la disminución del flujo en fuentes de agua.</li><li>❖ Construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales para su uso en industrias, energía, agricultura u hogares.</li><li>❖ Establecer fuentes de energía alterna con generación in-situ para apoyar las operaciones en caso de pérdida de energía.</li></ul>
---	--

## 5. EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es uno de los desafíos más complejos de comienzos de nuestro siglo, a medida que las condiciones climáticas cambian, las pautas de precipitación y de temperatura se vuelven más extremas a causa de la deforestación, uso de combustibles fósiles y la creciente generación de gases efecto invernadero.

El cambio climático representa un reto único para la economía, pudiendo afirmarse que es el mayor y más generalizado fracaso del mercado jamás visto en el mundo (Stern, 2006).

Nuestras acciones actuales y de las próximas décadas podrían crear el riesgo de que se produzca una importante perturbación de las actividades económicas y sociales a finales del siglo actual y en el próximo siglo, cuya escala sería comparable a la asociada con las grandes guerras y depresión económica de la primera mitad del siglo XX. Estos cambios serán difíciles y aun imposibles de subsanar. A plazo más largo, la adopción de medidas sobre el cambio climático es una estrategia a favor del crecimiento, que puede llevarse a la práctica sin por ello recortar las aspiraciones de crecimiento de los países, ricos o pobres. Cuanto antes se ponga en marcha una acción eficaz, menor será el coste (Stern, 2006).

El cambio del clima incidirá en forma creciente en la evolución económica de los países y regiones específicas (Galindo, 2009), siendo los países y las poblaciones más pobres los que sufrirán las consecuencias antes y con mayor intensidad. En el supuesto de que esta previsión se convierta en realidad, será demasiado tarde para dar marcha atrás.

Sin una clara perspectiva en cuanto a los objetivos de reducir las concentraciones de gases efecto invernadero, es poco probable que la adopción de medidas sea suficiente para alcanzar los objetivos propuestos. Sin embargo hay que considerar que son muchas las posibilidades de poner en marcha una política que permita obtener beneficios inmediatos a través de medidas orientadas a la mitigación, la adaptación y la innovación.

El análisis económico del cambio climático es sin embargo un tema en extremo complejo y donde sus características condicionan y limitan el tipo de estudio a realizar y en donde destacan las siguientes (Galindo, 2009):

1. El cambio climático es un fenómeno global pero que se manifiesta de manera muy heterogénea por regiones con efectos asimétricos importantes.
2. El cambio climático es un fenómeno continuo y de largo plazo, con un elevado nivel de incertidumbre, donde se requiere construir escenarios económicos de largo plazo.
3. El cambio climático contiene un nivel de riesgo elevado y, en este sentido, se convierte, desde el punto de vista del análisis económico, en un proceso donde debe administrarse apropiadamente el riesgo.

### **Costos de adaptación**

La adaptación permite reducir los impactos adversos del cambio climático y mejorar los impactos beneficiosos pero tendrá costos y no impedirá todos los daños.

Con el propósito de reducir los riesgos del cambio climático es necesario implementar medidas de adaptación que permitan reducir la vulnerabilidad al cambio climático, además de mejorar la capacidad de capturar cualquier beneficio del cambio climático.

Como se menciono anteriormente existen diferentes tipos de adaptación. En particular el IPCC diferencia entre adaptación autónoma y adaptación planificada. La adaptación autónoma es aquella que no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, sino que es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales y cambios en el mercado o el bienestar en los sistemas humanos (IPCC, 2001) sin embargo aunque no hayan sido ideadas expresamente para compensar el cambio climático, pueden reducir las repercusiones de ese cambio. La adaptación planificada resulta de una decisión política deliberada, basada en la comprensión de que las condiciones han cambiado o están por cambiar y de que se requieren medidas para volver a un estado deseado, mantenerlo o lograrlo (IPCC, 2001) pero no toma en cuenta específicamente el cambio y variabilidad del clima. La adaptación planificada se enfoca en bajar los

costos haciendo frente a los problemas ex ante y la adaptación autónoma hace frente a los impactos adversos ex post. Lecocq y Shalizi (2007) explican que la adaptación autónoma es reactiva y debe considerar entre sus costos la combinación de gastos de sobrevivencia y gastos de reconstrucción. Es decir, utiliza recursos para hacer frente a eventos en el momento que ocurren. Se debe considerar que este tipo de adaptación no es suficiente para reestablecer completamente el status quo por los aspectos irrecuperables; por ejemplo pérdidas que son imposibles de reestablecer (tales como paisajes, pérdida de biodiversidad o desaparición de bienes culturales) ó económicamente muy costosos de reparar. Estas pérdidas pueden ser referidas como daños residuales. De esta manera, para la adaptación autónoma, el costo total del cambio climático consistirá de cuatro componentes: costos de mitigación, costos de adaptación proactiva, costos de adaptación reactiva y daños residuales (Lecocq y Shalizi 2007).

A diferencia de la adaptación autónoma, la planificada se basa en la prevención, por lo que utiliza recursos ahora para prevenir posibles crisis en el futuro. El problema es que, en la práctica, cambios en el comportamiento y en las decisiones de política son frecuentemente más fáciles de ejecutar una vez que la crisis ha ocurrido que como anticipación a una crisis. Pero, desde el punto de vista económico, los costos preventivos suelen ser menores en comparación con los costos de acciones reactivas (Lecocq y Shalizi, 2007).

De acuerdo al IPCC, los costos de adaptación corresponden a los costos vinculados a la planificación, preparación, facilitación y aplicación de medidas de adaptación, incluidos los costos del proceso de transición (IPCC, 2007). Así, mientras las actividades de mitigación de gases efecto invernadero tienen a reducir la magnitud del cambio climático, las actividades de adaptación tienden a reducir los impactos adversos que una determinada magnitud de calentamiento puede causar (Frankhauser, 1998).

El costo total del cambio climático considera tres elementos (Frankhauser, 1998): los costos de mitigación (reducen la totalidad del cambio), los costos de adaptación (reducen los impactos del cambio) y los impactos residuales que no pueden ser mitigados o adaptados.

Basado en el trabajo desarrollado para el Programa de Impactos Climáticos del Reino Unido (Metroeconomica, 2004), el cual es un primer esfuerzo por elaborar una metodología de valoración de costos de los impactos del cambio climático; las decisiones sobre la adaptación al cambio climático implican, inevitablemente, seleccionar y establecer prioridades entre los riesgos de cambio climático y las diferentes opciones disponibles para adaptarse a los riesgos que se consideren significativos. De forma que el responsable de la toma de decisiones se puede enfrentar a dos formas de decisión:

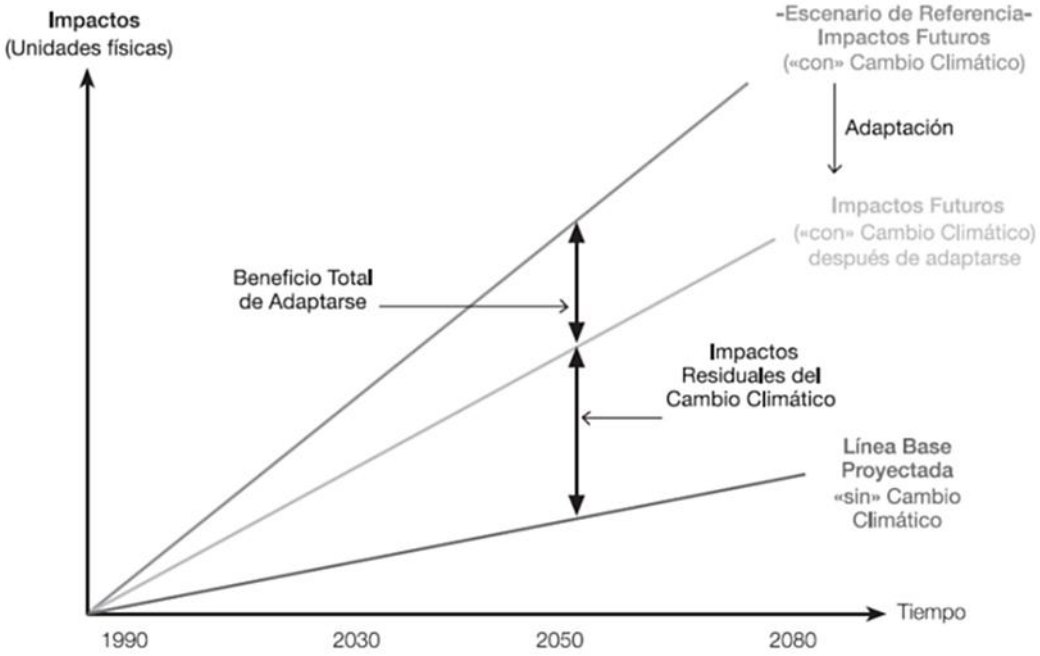
- Priorizar y clasificar riesgos: obtener estimaciones válidas del «orden de magnitud» de los riesgos del cambio climático relevantes, de modo que se pueda establecer su importancia relativa.
- Evaluación de la opción de adaptación: obtener estimaciones válidas del «orden de magnitud» de los beneficios netos de las opciones para adaptarse a los riesgos significativos del cambio climático. Esto hará posible la puesta en marcha de la mejor (o preferida) opción u opciones.

El beneficio neto de la acción, en relación con el coste de no hacer nada, es uno de los elementos clave que las organizaciones deberían tener en cuenta en cualquier contexto de toma de decisiones.

Claramente, la toma de decisiones en cualquiera de estos dos contextos implica elegir entre los impactos a que están expuestos los diferentes receptores vulnerables y el coste financiero de invertir en adaptación. Para que al responsable de la toma de decisiones le resulten más sencillas dichas elecciones, conviene, siempre que sea posible, expresar las consecuencias de la adaptación en una sola dimensión, en términos monetarios concretamente. Actualmente hay, sin embargo, una carencia obvia de estimaciones fiables de los costes relacionados con los diferentes riesgos regionales o sectoriales del cambio climático. Esto hace que sea complicado priorizar entre los diferentes riesgos del cambio climático, y comparar las medidas de adaptación con los beneficios netos de esas medidas, de forma eficaz.

La respuesta de adaptación reduce (aumenta) la exposición futura de un receptor a los riesgos del cambio climático. Se puede pensar en la reducción (aumento) del

riesgo, como la eficacia de la respuesta de adaptación o, como los beneficios totales de adaptarse. La Figura 7 muestra que la reducción (aumento) del riesgo viene dada por el impacto estimado del cambio climático en ausencia de adaptación, menos el impacto estimado con adaptación.



Fuente: Adaptado de Parry y Carter (1998).

**Figura 7. Escenario de Referencia relevante para la decisión de adaptación Tipo II: Ventajas de adaptarse en relación a una línea base proyectada**

Este análisis de opciones de adaptación permitiría al responsables de la toma de decisiones aceptar o rechazar una determinada opción de adaptación, elegir una opción entre un numero variado de alternativas o bien elegir la escala y el tiempo adecuados para emprender una opción de adaptación.



## 5.1 Experiencias en evaluación de costos de adaptación a nivel global

A nivel internacional la estimación de los costos de adaptación es diversa y abarca una variedad de sectores. Los principales son agricultura, agua, bosques, biodiversidad, energía, salud, elevación del nivel de mar y eventos extremos. Las metodologías son diversas desde modelos de valoración integrada, modelos de equilibrio general computables y los de enfoque sectorial. Cada modelo tiene diversas características, es utilizado para distintos propósitos y conduce a distintos resultados.

La evaluación de los costos globales de adaptación pueden ser divididos en dos generaciones basadas en diferentes metodologías para el cálculo de los costos de adaptación (Frankhauser, 2010).

La primera generación de trabajos se basan en las aportaciones del Banco Mundial como parte del “Investment Framework for Clean Energy and Development” (UNFCCC, 2007), los costos de adaptación son calculados sobre la base de la sensibilidad de la inversión actual del clima. Los costos de inversión en capital futuro se calculan usando un factor de margen sobre el beneficio (mark-up). Este trabajo del Banco Mundial fue posteriormente actualizado por (Stern, 2006), usando la misma metodología pero con diferentes mark-ups.

El trabajo y los resultados del Banco Mundial también fueron empleados por (Oxfam, 2007) y el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, (UNDP, 2007). La evaluación de Oxfam añade tres elementos: los costos de la comunidad a nivel de proyecto llevados a cabo por ONG’s; los costos de adaptación inmediata necesarias para los gobiernos de países desarrollados; además de los costos de adaptación que no están incluidos por el Banco Mundial. Contrario a los estudios previos que consideran los costos actuales de adaptación, la UNDP evalúa las inversiones anuales requeridas para la adaptación para el año 2015 considerando el costo de tres elementos: el costo de desarrollar inversiones para protegerse contra el clima, el costo de fortalecer programas de protección social y el costo de fortalecer los sistemas de respuesta a desastres.

Los estimadores de primera generación están fuertemente relacionados a los mark-ups elegidos y pueden considerarse como estimadores de largo plazo, lo cual les resta confiabilidad, además, no obstante que se les denomina globales solo consideran países subdesarrollados. La metodología en que están basados no permite distinguir entre sectores, estas deficiencias motivaron el cambio de metodología a una de segunda generación.

El conjunto de trabajos de segunda generación fue iniciada por la UNFCCC (United Nations Framework on Climate Change) como parte de su “Análisis de Inversión Existente y Planeada y Flujos Financieros Relevantes para el Desarrollo de Respuestas Efectivas y Apropriadas Internacionalmente al Cambio Climático” (UNFCCC, 2007). Las estimaciones de la UNFCCC examinan las inversiones y flujos financieros para adaptación al cambio climático para el año 2030 en cinco sectores: agricultura, bosques y pesquerías, oferta de agua, salud humana, zonas costeras e infraestructura.

Posteriormente, el Banco Mundial llevó a cabo un exhaustivo estudio de costos de adaptación global en el proyecto, “La Economía de Adaptación al Cambio Climático” (EACC) (World Bank, 2008), este estudio toma una aproximación similar al de UNFCCC pero considera más detalles en infraestructura así como efectos de equilibrio general. El inconveniente de este estudio es que la adaptación está sobreestimada porque se supone que se debe reconducir la economía a niveles de bienestar pre-cambio climático lo cual no necesariamente es óptimo.

En ambos tipos de enfoque, las estimaciones de costos y beneficios de adaptación tienen serias limitaciones. Los estudios sectoriales específicos son aún limitados en cobertura sectorial y geográfica, por tanto, aumentar la escala a niveles globales puede implicar un sesgo en donde la información está solamente relacionada a casos particulares. El papel de los supuestos que subyacen en la agregación para el resultado final es resaltado por (Watkiss, 2011).

## 5.2 Experiencias en evaluación de costos de adaptación a nivel nacional

Las consecuencias económicas del cambio climático para México, son heterogéneas, por regiones, no obstante, a nivel nacional se han realizado algunos trabajos que generan una estimación de los costos que traerían dichos cambios.

El “Estudio sobre la economía del cambio climático en México” (INE, Universidad Iberoamericana, 2007), realizado por el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Iberoamericana es una primera aproximación a la determinación de la vulnerabilidad a partir de indicadores socioeconómicos, medioambientales y riesgos de desastres naturales esperados por el efecto del cambio climático.

El estudio aplica distintos métodos de valoración económica para determinar el impacto del cambio climático en algunos sectores como la agricultura, ecosistemas, agua y salud. El método utilizado para la evaluación económica del agua es el de costos inducidos, de modo que se analiza cómo el cambio climático afecta la disponibilidad del agua de una cuenca. La pérdida económica se calcula multiplicando el precio del agua por el cambio en el volumen de agua aprovechable en determinadas cuencas. Sin embargo, la valoración no considera opciones de adaptación en el sector agua por lo que no se presentan costos.

Estudios más recientes como “La economía del cambio climático en México”, realizado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Medio Ambiente y Recursos Naturales y coordinado por Luis Miguel Galindo (Galindo, 2009) identifica, analiza y cuantifica los costos económicos del cambio climático en diversos sectores, además de proponer algunas medidas de adaptación y mitigación

La metodología aplicada se basa en la construcción de dos escenarios base donde no se incluye inicialmente el impacto del cambio climático y más adelante, escenarios en los que se toma en cuenta el cambio climático. La diferencia entre estos dos escenarios muestra el impacto del mismo.

El análisis del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos del país se realizó considerando el impacto de la temperatura sobre la oferta y la demanda de agua. Así, se estimó, con un modelo de sección cruzada, la demanda de agua con respecto a la temperatura lo que permitió identificar el aumento del consumo asociado a dicha variable, mientras que el impacto en la disponibilidad de agua es estimada a través de un modelo econométrico con datos panel que considera la disponibilidad natural para cada una de las 13 regiones hidrológicas del país como una función de la temperatura y la precipitación. Con base a los resultados de disponibilidad y consumo, se calcula el índice de vulnerabilidad y los costos asociados al cambio climático.

### **5.3 Evaluación de costos en Organismos Operadores de Agua**

De manera general, los recursos disponibles sugieren una falta de orientación en materia de evaluación de costos de adaptación en organismos operadores de agua, ya que los trabajos realizados para tal fin son pocos.

En su mayoría los estudios han incorporado información del clima en sus procesos de planificación utilizando un enfoque top-down el cual, como se menciono anteriormente permite identificar los impactos del cambio climático y medidas de adaptación a partir de la información obtenida de Modelos de Circulación General.

Sin embargo, aun conociendo las posibles medidas de adaptación en los sistemas operadores, no existe un consenso generalizado sobre la metodología que podría aplicarse para determinar los costos de adaptación en los organismos operadores.

Los estudios enfocados a la estimación de los costos del cambio climático son limitados, especialmente a nivel global.

Uno de ellos es la evaluación realizada por Kirshen (Kirshen P. , 2007), la cual estima los costos adicionales de infraestructura necesarios al 2030 para proveer suficiente agua en cerca de 200 ciudades. Los costos estimados son los costos totales asociados a la construcción e infraestructura adicional necesaria (depósitos de almacenamiento, pozos, desalinización e infraestructura con fines de reúso de agua) para cubrir la demanda proyectada bajo escenarios de

crecimiento poblacional, económico y el cambio climático esperado bajo dos escenarios.

Para México, de acuerdo a los resultados del estudio, para el escenario B1 y A1b los requerimientos adicionales se muestran a continuación:

**Tabla 8. Costos resultantes del cambio climático (México) (Kirshen P. , 2007)**

Escenario	Depósitos de almacenamiento adicionales (m <sup>3</sup> )	Pozos adicionales (km <sup>3</sup> /año)	Tratamiento de aguas residuales (km <sup>3</sup> /año)	Costo total (USD)
B1 (mitigación de GEI)	1701.3 x 10 <sup>6</sup>	13.3	60	3.59x10 <sup>9</sup>
A1b (aumento de GEI)	8748 x 10 <sup>6</sup>	15.26	43	6.78x10 <sup>9</sup>

Las estimaciones se basan en la estimación de los requerimientos adicionales en la capacidad de almacenamiento de reservorios. Dicha estimación se realiza con curvas de rendimiento-almacenamiento las cuales muestran la capacidad de almacenamiento necesaria para satisfacer las diversas demandas de consumo de agua.

De forma que, se relaciona para cada determinada cuenca la capacidad de almacenamiento requerida de acuerdo a los distintos niveles de exigencias, y finalmente son asociados a los costos operativos y de capital tomando como referencia bases de datos correspondientes a los costos medios de construcción.

Otros trabajos aplicados a nivel local analizan bajo diversos enfoques los costos de las medidas de adaptación; algunos consideran los costos como el cambio en la calidad del agua, asumiendo que los costos de adaptación al cambio climático y crecimiento de la población representan los costos de tratamiento extras para cumplir con un determinado nivel de calidad del agua (Kirshen, Ruth, & Anderson, 2000); otras evaluaciones analizan los beneficios y costos de adaptarse al cambio climático a través del cálculo del incremento de la capacidad de almacenamiento (Kirshen, McCluskey, Vogel , & Strzepek, 2005) (Callaway, Louw, Jabavu, Hellmuth, & Sparks, 2007), el aumento de costos asociados a la desviación de agua y la construcción de nueva infraestructura ante un cambio en la disponibilidad por el retroceso de los glaciares (Vergara, y otros, 2007) o bien considerando bases de datos de costos promedios generados elaboradas ya para

diversas medidas de adaptación en participación con expertos, agencias y datos reportados por diversas empresas de abastecimiento de agua (NACWA-AWWA, 2009).

En México, la Economía del Cambio Climático (Galindo, 2009) realiza una aproximación a los costos asociados al cambio climático atendiendo a la trayectoria de agua para cada sector: abastecimiento público, agropecuario e industrial. En este caso los costos calculados indican la cantidad de recursos que deberán invertirse para garantizar el abastecimiento adicional del recurso hídrico bajo un cambio en la temperatura media.

En el sector de abastecimiento público, los costos se evalúan analizando la trayectoria de los costos del suministro de agua (costos de producción) para consumo humano a través de una ecuación de corte transversal con datos para las 32 entidades de la república. De este modo, los costos unitarios de producción de agua se pronosticaron para el 2050 y 2100 (a precios del 2006).

**Tabla 9. Comparativo de costos, recaudación y subsidio 2006, 2050 y 2100 (Galindo, 2009)**

Concepto	2006	2050	2100	Tasa de crecimiento promedio anual (%)		Incremento porcentual	
				2006-2050	2050-2100	2006 a 2050	2050 a 2100
Costo de producción (\$/m <sup>3</sup> ) (promedio)	3.69	4.61	4.8	0.5	0.08	25%	4.12%
Costo total nacional (millones de pesos a precios de 2006)	42,129	91,136	111,468	1.8	0.50	116%	25.60%
Recaudación (millones de pesos precios de 2006)	1,535	2,517	3,022	1.2	0.40	64%	20.06%
Subsidio (millones de pesos a precios de 2006)	40,594	88,619	111,446	1.8	0.45	118%	25.75%

Los resultados obtenidos muestran una trayectoria de los costos ascendente, sin embargo, considerando la estructura de subsidio actual (96%), el suministro de agua para abastecimiento crecería a un ritmo de 1.8% en términos reales de 2008 a 2050 y en 0.45% anual de 2050 a 2100.

## 6. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El presente capítulo tiene como objetivo describir la metodología propuesta para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un organismo operador.

Esta metodología es un primer intento por evaluar los costos de adaptación al cambio climático en el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento partiendo de la información obtenida a través de un análisis de las variables relacionadas con la variación de clima, ubicación geográfica, operación y desempeño del organismo operador.

El esquema metodológico en el que se basa la evaluación de costos de adaptación se describe a continuación:



**Figura 8. Metodología**

La metodología consta de tres elementos fundamentales: un índice de vulnerabilidad, una función de demanda *ad-hoc* que incorpora como variables independientes la tarifa, el ingreso, la temperatura y la precipitación; y el cálculo de los costos asociados a los dos primeros elementos.

**Índice de vulnerabilidad:** dadas las condiciones sociales, climáticas y de eficiencia actuales, se calcula un índice de vulnerabilidad que permite evaluar las variables que ante un escenario de cambio climático podrían incrementar el nivel de susceptibilidad de un Organismo Operador.

**Identificación de medidas de adaptación:** considerando el nivel de vulnerabilidad y los indicadores que aumentan el nivel de susceptibilidad del organismo operador, se plantean un conjunto de escenarios que permitan evaluar el efecto de implementar mejoras físicas y administrativas en el organismo operador, a fin de incrementar su capacidad de adaptación.

**Estimación de la demanda:** para el organismo operador analizado se calcula una función de demanda entre cuyas variables exógenas debe estar el precio, el ingreso, la temperatura y la precipitación. Los valores de demanda se calculan para las nuevas condiciones climáticas derivadas de los escenarios de cambio climático asumidos en el análisis de vulnerabilidad.

**Índice de vulnerabilidad con adaptación:** se definen los incrementos porcentuales de los indicadores de acuerdo a los escenarios planteados en la segunda etapa, estos incrementos pueden ser definidos a través de una meta, por ejemplo la media nacional o los niveles de desempeño del organismo menos vulnerable del país para finalmente recalcular el índice de vulnerabilidad bajo estos escenarios.

**Evaluación de costos:** Una vez evaluado el nivel de vulnerabilidad con la implementación de las medidas de adaptación, se calculan los costos asociados a dichas medidas. Los costos de adaptación se obtienen a partir de costos unitarios para cada una de las diferentes etapas consideradas en el proceso de producción de agua (producción, distribución, administración y comercialización) y la variación del volumen facturado y producido en cada uno de los escenarios planteados.



## 6.1 Índice de vulnerabilidad

La respuesta del medio hidrológico al cambio climático es compleja y afecta a todos los componentes del ciclo hidrológico. Desde la perspectiva de evaluar sus efectos, el análisis de vulnerabilidad permite valorar el alcance de dicha respuesta. Es decir, tiene el objetivo de determinar la capacidad del sistema hidrológico para adaptarse a los efectos del cambio climático; considerando que dicha capacidad depende de su susceptibilidad.

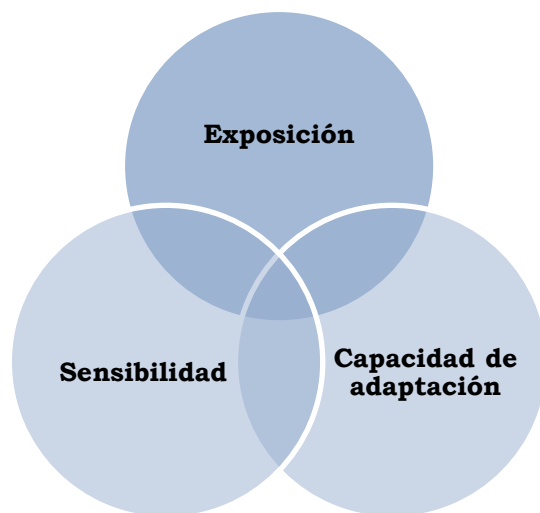
Con el objeto de proveer una evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad, se han desarrollado diversos índices en el campo de los recursos hídricos. En ocasiones la evaluación de la vulnerabilidad incorpora únicamente aspectos físicos que consisten en índices de disponibilidad o presión del recurso (Lu, 2004) (Vorosmarty, Green, Salisbury, & Lammers, 2000).

Con el desarrollo de evaluaciones más integrales, se han realizado diversos análisis y propuesto otro tipo de índices que difieren en el enfoque utilizado para la generación de indicadores, adoptando un enfoque causa-efecto (UNEP, PKU, 2008), o bien la integración de factores humanos, sociales, políticos y físicos (Sullivan & Meigh, 2005).

Entre algunos de los métodos de evaluación planteados en México se encuentran los índices generados por el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2002) (INE-IMTA-SEMARNAT, 2008), el primero genera un índice cualitativo ya que el estudio evalúa los aspectos críticos del agua y sus tendencias por región, la segunda evaluación describe los efectos del cambio climático en la disponibilidad del agua de acuerdo a factores de disponibilidad, presión, contaminación, temperatura y precipitación.

“La economía del cambio climático” (Galindo, 2009) de acuerdo a datos de disponibilidad natural, demanda de agua, cambios en temperatura y precipitación, estima un índice de vulnerabilidad en el consumo de agua y obtiene un rango de variación del posible incremento del índice de acuerdo a las variaciones entre escenarios de 2007 y un escenario de 2050 y 2100 con cambio climático.

Bajo este contexto, considerando la disponibilidad de información, los conceptos planteados por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y la guía metodológica para la construcción de indicadores compuestos propuesta por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (Naro, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2005), se planteo evaluar la respuesta de los organismos operadores al cambio climático través de un índice simple (adimensional) que permitiera valorar la susceptibilidad y el alcance del nivel de respuesta en base a tres componentes; grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.



**Figura 9. Factores de vulnerabilidad (IPCC)**

Considerando estos tres factores se generó un índice que permitiera evaluar de forma individual el grado de vulnerabilidad en un organismo operador basado en la agregación lineal y ponderada de dichos factores.

$$I_v = GE + SE + CA \quad (1)$$

Donde  $I_v$ , índice de vulnerabilidad,  $GE$ , grado de exposición,  $SE$ , sensibilidad,  $CA$ , capacidad de adaptación.

### **6.1.1 Selección de indicadores**

De acuerdo a los tres factores: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, se definieron el conjunto de variables e indicadores que permitieran evaluar cada uno de ellos.

La selección de dichos indicadores se baso en la relevancia, calidad y disponibilidad de información de una muestra de 14 organismos operadores del país.

**Tabla 10. Selección de Indicadores de vulnerabilidad**

FACTORES DE VULNERABILIDAD	VARIABLES	INDICADOR	FUENTE DE INFORMACIÓN
<b>Grado de exposición</b>	Temperatura	°C	(Montero Martínez, Martínez Jiménez , Castillo Pérez, & Espinosa Tamarindo, Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima, 2010)
	Precipitación	% variación	
<b>Sensibilidad</b>	Población/Ingreso/Precio (Demanda)	Consumo (l/h/d)	(IMTA, 2009)
	Confiabilidad de infraestructura	Grado de confiabilidad: Gastos de mtto./Ingreso total	(IMTA, 2009)
	Relación Demanda-Oferta	Demanda/Oferta	(IMTA, 2009)
	Presión hídrica	Grado de presión (%): Vol. Concesionado/Agua renovable	(CONAGUA, 2011)
	Eficiencia económica	Tarifa/Costos de producción	(IMTA, 2009)
<b>Capacidad de adaptación</b>	Desempeño	Eficiencia física (%)	(IMTA, 2009)
		Eficiencia comercial (%)	(IMTA, 2009)

A continuación se describe cada uno de los indicadores seleccionados y su importancia en la evaluación de vulnerabilidad:

- **Grado de exposición**

*Precipitación y temperatura:* El descenso de las precipitaciones y el incremento de la evaporación debido a las altas temperaturas, causaría efectos sustanciales en la disponibilidad del recurso y en la calidad de agua, lo que implicaría aumento de costos de operación y generaría dificultad para satisfacer las crecientes demandas de agua.

- **Sensibilidad**

*Consumo:* Representa el consumo doméstico medido del que dispone una persona para sus necesidades diarias. Considerando el resultado de los futuros cambios climáticos, un incremento de la demanda de agua se traduce en mayores costos de operación sumado a la problemática de escasez de agua y crecimiento de la población.

*Grado de confiabilidad:* Representa los gastos de mantenimiento en relación al ingreso total del Organismo Operador. Considerando que las redes e infraestructura requieren mantenimiento y rehabilitación apropiada. Si estas medidas no son efectivas y rutinariamente implementadas, el periodo de vida de la infraestructura y redes será excedida de forma que bajo fenómenos como el cambio climático resultaran desproporcionados y constantes incrementos en los costos de mantenimiento.

*Demanda/Oferta:* Representa una relación entre el consumo y la capacidad instalada en las fuentes de abastecimiento, de forma que es un indicativo de la disponibilidad del recurso. Bajo un escenario de disminución de los suministro de agua superficial y la recarga de acuíferos por descenso de las precipitaciones se dificulta la capacidad de un Organismo Operador para cubrir los consumos mínimos requerimientos por la población.

*Grado de presión:* Representa una relación entre el aprovechamiento del agua para diferentes usos (agrícolas, industriales, humanos) respecto a la disponibilidad superficial y subterránea por región, lo que indica el grado de presión que se ejerce sobre los recursos hídricos. Bajo escenarios de disminución de la disponibilidad, se intensificaría la competencia entre los distintos usos lo que podría aumentar el grado de presión de los recursos y generar deficiencias en el suministro de agua.

*Tarifa/Costos de producción:* Representa una relación entre las tarifas de agua y el costo que tiene proporcionar esa cantidad de agua (costos de mantenimiento, operación y administración). Ya que las tarifas no necesariamente reflejan el costo que tiene para un Organismo Operador proporcionar determinado volumen de agua, dicha relación refleja el nivel de subsidio en las tarifas domésticas que

ante escenarios de cambio climático podría aumentar en relación a los costos de operación e inducir a un incorrecto uso del recurso.

- **Capacidad de adaptación**

*Eficiencia física:* Representa el cociente entre el volumen de agua facturado entre el volumen de agua producido, es indicativa no sólo de la capacidad administrativa (en facturación y medición) de los Organismos Operadores, sino una condición crucial para el uso sostenible del agua: las pérdidas en el sistema de distribución, tanto por el mal estado de la red, como por robos y agua no contabilizada.

*Eficiencia comercial:* Representa el cociente del primer importe recaudado dividido entre el importe del agua facturada por el suministro del agua, es el indicador simple que de manera más cercana valora el desempeño total de los Organismos Operadores, tanto en dimensiones administrativas, como físicas.

### 3.1.2 Normalización de datos

Dado que los indicadores seleccionados para la construcción del índice, están medidos en distintas escalas y unidades, se hizo necesario definir normalizar la información para que fuera posible su agregación de manera comparable.

Los valores se normalizaron de acuerdo a la técnica de re-escalamiento, la cual consiste en transformar los resultados de los indicadores para llevarlos a un nuevo intervalo, empleando la distancia entre los valores máximos y mínimos que el indicador adquiere.

$$Vn = \frac{(Vo - Vmin) \cdot (Qmax - Qmin)}{(Vmax - Vmin)} + Qmin \quad (2)$$

donde  $Vn$ , valor normalizado,  $Vo$ , valor original,  $Vmax$ , valor máximo original,  $Vmin$ , valor mínimo original,  $Qmax$ , valor máximo del nuevo intervalo,  $Qmin$ , valor mínimo del nuevo intervalo.

El intervalo propuesto corresponde a una escala de 1 a 10, teniendo en cuenta que el 10 corresponde al valor del indicador que representa un mayor grado de

vulnerabilidad mientras que el 1 representa el valor con menor grado de vulnerabilidad.

### 3.1.3 Ponderación

La ponderación supone la necesidad de establecer diferentes factores de peso que den cuenta de la importancia relativa de cada indicador en el índice, para finalmente general el agregado y construir el índice.

Dado que el peso de cada indicador varía de acuerdo a las condiciones del organismo operador analizado, se asignó la misma prioridad a todos los indicadores a fin de ver reflejada su importancia una vez calculado el índice.

Sin embargo, a fin de representar y dar importancia a la escala obtenida para cada indicador, se definieron 3 rangos partiendo de los valores máximos y mínimos del total de los organismos operadores analizados.

Dichos rangos representan diferentes niveles de vulnerabilidad y tiene un efecto diferente en el cálculo del índice, por lo tanto se definió una ponderación para cada rango definido dependiendo del grado de vulnerabilidad que represente.

**Tabla 11. Asignación de ponderaciones**

<b>PONDERACIÓN</b>	<b>GRADO DE VULNERABILIDAD</b>
<b>1</b>	Bajo
<b>2</b>	Medio
<b>3</b>	Alto

Así, el valor normalizado de cada indicador debe de ser multiplicado por dicha ponderación a fin de que el nuevo valor sea representativo del efecto que tiene dicho indicador en el índice de vulnerabilidad.

$$V_p = V_n \cdot P \quad (3)$$

donde  $V_p$ , valor ponderado,  $V_n$ , valor normalizado,  $P$ , ponderación.

### 3.1.4 Agregación

Una vez determinada la ponderación se procede a agregar todos los indicadores para generar el Índice de Vulnerabilidad. El método utilizado representa una

agregación lineal ponderada que consiste en una suma de los valores ponderados obtenidos de cada indicador, los cuales finalmente representan la suma del grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de acuerdo a las características de cada organismo operador.

$$I_v = \sum_{i=1}^N W_i \cdot Vn_i \quad (4)$$

donde  $I_v$ , índice de vulnerabilidad,  $W_i$ , ponderación del indicador  $i$ ,  $Vn_i$ , valor normalizado del indicador  $i$ .

**Tabla 12. Normalización y ponderación de rangos**

FACTORES DE VULNERABILIDAD	INDICADOR	RANGO		PONDERACIÓN (Grado de vulnerabilidad)
		Real	Normalizado	
<b>Grado de exposición</b>	°C	0 - 1.0	1.00 - 3.25	1
		1.0- 2.0	3.25 - 5.50	2
		2.0 - 4.0	5.50 - 10.00	3
	% variación	-11.0 - -15.0	1.00 - 4.27	1
		-15.0 - -19.0	4.27 -7.55	2
		-19.0 - -22.0	7.55 - 10.00	3
<b>Sensibilidad</b>	Consumo (l/h/d)	100 - 150	1.00 - 2.29	1
		150 - 300	2.29 - 6.14	2
		300 - 450	6.14 -10.00	3
	Grado de confiabilidad: Gastos de mtto./Ingreso total	0 - 0.15	10.00 - 7.00	3
		0.15 - 0.30	7.00 - 4.00	2
		0.30 - 0.45	4.00 - 1.00	1
	Demanda/Oferta	0.20 - 0.40	1.00 - 3.25	1
		0.40 - 0.70	3.25 - 6.63	2
		0.70 - 1.0	6.63 - 10.00	3
	Grado de presión (%): Vol. Concesionado/Agua renovable	0 - 20	1.00 - 2.50	1
		20 - 40	2.50 - 4.00	2
		40 - 120	4.00 - 10.00	3
Tarifa/Costos de producción	0 - 1.0	10.00 - 9.74	3	
	1.0 - 6.0	9.74 - 8.46	2	
	6.0 - 35.0	8.46 - 1.00	1	
<b>Capacidad de adaptación</b>	Eficiencia física (%)	0.40- 0.50	10.00 - 8.50	3
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2
		0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1
	Eficiencia comercial (%)	0.40- 0.50	10.00 - 8.50	3
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2
		0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1

De acuerdo a los resultados, un OOPA puede presentar distintos grados de vulnerabilidad dependiendo la variable analizada. Sin embargo, un OOPA que presente un desempeño “aceptable” en la prestación de los servicios de agua

potable, alcantarillado y saneamiento, puede haber desarrollado capacidades para afrontar los efectos del cambio climático, tomando en consideración la existencia de excedentes de ingresos disponibles para invertirse en mejoras a la operación e infraestructura.

El cálculo del índice de vulnerabilidad es únicamente una herramienta que permitirá plantear aquellas variables que pueden poner a prueba la capacidad de respuesta de la organización y posteriormente evaluar los costos que implican plantear un conjunto de medidas enfocadas a reducir dicha vulnerabilidad.

El objetivo es que los Organismos Operadores incorporen los resultados del análisis de vulnerabilidad en el proceso de planificación que bajo el enfoque de cambio climático implica definir impactos y evaluar sus efectos (a través de un análisis de vulnerabilidad), las diferentes alternativas disponibles para adaptarse a los impactos que se consideran significativos y el costo económico que implica invertir en medidas de adaptación que permitan minimizar dichos impactos.



## 6.2 Identificación de medidas de adaptación

El índice de vulnerabilidad permite evaluar y sintetizar el nivel de susceptibilidad de un organismo operador ante un escenario de cambio climático teniendo en consideración el grado de desarrollo que posea como organización, su situación geográfica, las fuentes de agua y su disponibilidad, la cantidad de habitantes a servir, el nivel socioeconómico entre otros aspectos.

Este conjunto de variables puede poner prueba la capacidad de respuesta de la infraestructura existente ante los efectos de cambio climático, pero más aún, la capacidad de organización para preveer, planear y tomar decisiones que coadyuven en la adaptación.

Bajo este contexto se plantean un conjunto de escenarios que permitan evaluar el efecto de implementar mejoras físicas y administrativas en el organismo operador, a fin de incrementar su capacidad de adaptación o bien disminuir su nivel de vulnerabilidad.

Los escenarios planteados son los siguientes:

- ◆ Escenario 1: Escenario base. No se considera ninguna inversión económica en las variables que intervienen en el cálculo del índice, únicamente se satisface la demanda dado el crecimiento de esperado de las variables: nivel de precios, Producto Interno Bruto y población. La diferencia entre los costos generados en este escenario y el resto representaran los costos de adaptación al cambio climático.
- ◆ Escenario 2: Escenario con cambio climático. Las variables de sensibilidad y capacidad de adaptación permanecen constantes a excepción de la demanda en el que los volúmenes consumidos se calculan para las nuevas condiciones climáticas derivadas de los escenarios de cambio climático asumidos.
- ◆ Escenario 3: Incremento de la tarifa. Los indicadores de desempeño permanecen constantes, sin embargo mantener los niveles de eficiencia actuales implica un aumento de los costos de producción que se reflejan

en un incremento en la tarifa, además de controlar el gasto, a través del manejo de la demanda con los incrementos adecuados en las mismas.

- ◆ Escenario 4: Incremento de la eficiencia física. Se realizan mejoras en la infraestructura a fin de disminuir el volumen de agua no contabilizada, lo que implica aumento en los costos de producción que se cubren en la totalidad con el incremento de las tarifas.
  
- ◆ Escenario 4: Incremento de la eficiencia comercial. Aumento de la eficiencia en cobranza a través de la mejora en el sistema de lectura, facturación y cobro lo que representa un aumento en los costos de producción e ingresos.

En términos generales, las mejoras administrativas y su efecto en el nivel de vulnerabilidad de determinado organismo operador se evalúa estimando la demanda y recalculando el índice de vulnerabilidad bajo estas nuevas condiciones.

### 6.3 Estimación de la demanda

El incremento de la población en un país trae aparejada más demanda de bienes servicios; entre los más importantes están los públicos, pues de ellos depende en buena medida la calidad de vida y el bienestar de las personas. Si bien el crecimiento de la economía puede satisfacer con facilidad la solicitud creciente de muchos bienes y servicios, existen los que están limitados a la disponibilidad de recursos naturales y por lo tanto resienten de manera particular el aumento demográfico, tal es caso del agua (Salazar Adams & Pineda Pablos, 2010).

Si bien, el crecimiento demográfico y una eventual menor disponibilidad de agua obliga a los organismos operadores a aumentar y/o mejorar la infraestructura también impone un reto que implica incrementar la capacidad para gestionar los servicios de captación, suministro y tratamiento de agua.

Así, la estimación de la demanda busca bajo los escenarios descritos determinar si el volumen de agua a consumirse en un futuro requerirá nuevas fuentes de abastecimiento o bien el efecto de implementar medidas que favorezcan una gestión más eficiente le permitirán cubrir los consumos requeridos.

#### 6.3.1 Especificaciones del modelo

La cantidad de agua consumida se considera como una función del precio, del ingreso y de variables climatológicas que influyen en el consumo. Por lo tanto la especificación del modelo esta dada por:

$$LQ_{CON} = \beta_1 LPRE_{PROM} + \beta_2 LPIB + \beta_3 LPREC_{PROM} + \beta_4 LTEMP_{PROM} + \varepsilon \quad (5)$$

Donde:

LQ\_CON: Logaritmo de la cantidad de agua consumida

LPRE\_PROM: Logaritmo del precio promedio

LPIB: Logaritmo del Producto Interno Bruto

LPREC\_PROM: Logaritmo de la precipitación promedio

LTEMP\_PROM: Logaritmo de la temperatura promedio

$\varepsilon$  = Termino de error

La transformación de la distribución de la demanda en forma logarítmica mostrada ayuda a una distribución más normal además de diferenciar los distintos tipos de consumidores con niveles de demanda distintos a la media.

La interpretación de la variable de LPRE\_PROM podría hacerse como la sensibilidad de la demanda ante cambios de esta variables, se espera una relación negativa entre el precio y la cantidad demandada, la variable LPIB, LPREC\_PROM y LTEM\_PROM responde a la necesidad de incluir el ingreso y los cambios climáticos existentes en la entidad. Se espera que las correlaciones de estas variables resulten positivas dado que a mayor ingreso mayor demanda, y a mayor temperatura se consume una mayor cantidad de agua, la precipitación se puede tomar indiferente.

### 6.3.2 Estimación

El análisis de regresión es el estudio de la dependencia de la variable dependiente respecto a una o más variables independientes o explicativas con el objeto de estimar el valor promedio poblacional de la primera en términos de los valores conocidos de las segundas (Gujarati, 2003). La interpretación de la regresión se introdujo por Francis Galton, con la ley de regresión universal, confirmada por Karl Pearson (Galton , 1886) (Pearson & Lee, 1903).

El análisis de regresión lineal permite investigar la relación estadística que existe entre una variable dependiente (y) con una o más variables independientes ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) mediante la ecuación

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_n X_n \quad (6)$$

El coeficiente  $\beta$  de cada variable independiente mide por separado el efecto de este sobre la variable dependiente Y , para poder encontrar el mejor estimador de los parámetros en una regresión lineal se pueden usar métodos como los Mínimos Cuadrados Ordinarios, el Método Generalizado de Momentos, o el Binary Choice entre otros.

El método que se utilizó para obtener los parámetros de regresión en la demanda de agua es el de Mínimos Cuadrados Ordinarios el cual intenta reducir al mínimo la sumatoria de los errores al cuadrado, es decir,

$$\min Q = \sum (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}_{x_i} - \hat{\beta}_{x_i})^2 \quad (7)$$

Este método se atribuye a Carl Friededrich Gauss un matemático alemán, el principio de los mínimos cuadrados ordinarios está dado por

$$Y = B_1 + B_2X + u_i \quad (8)$$

La función estimada dada por

$$\hat{Y} = \hat{B}_1 + \hat{B}_2X + \hat{u}_i = \hat{Y}_1 + \hat{u}_i \quad (9)$$

Donde  $\hat{Y}$  es el valor estimado (media condicional de  $Y_i$

Expresando 
$$\hat{u}_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2X_i \quad (10)$$

En donde se muestra que los residuos ( $u_i$ ) son las diferencias entre los valores observados y los estimados de Y.

Dados n pares de observaciones de Y y X se determina la función de regresión muestral de tal manera que esté lo más cercana posible a la Y observada, y que la suma de los residuos  $\sum \hat{u}_i = \sum Y_i - \hat{Y}_i$  sea la menor posible.

Si se adopta el criterio de minimizar los errores los residuos  $\hat{u}_1, \hat{u}_4$  reciben el mismo peso en la suma  $\hat{u}_1 + \hat{u}_2 + \hat{u}_3 + \hat{u}_4$  aunque los dos primeros estén más cerca a la función de regresión que los dos últimos, es decir, a todos los residuos se les da la misma importancia sin considerar que tan cerca o que tan dispersas estén las observaciones individuales de la función estimada, debido a lo anterior la suma algebraica de los residuos es cero.

A partir de  $\sum \hat{u}_i^2 = f(\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$ , es decir la suma de los residuos elevados al cuadrado es algún tipo de función de los estimadores  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ , para cada conjunto dado de datos con diferentes y, por consiguiente valores diferentes de  $\sum \hat{u}_i^2$ .

El método de mínimos cuadrados ordinarios escoge  $\hat{\beta}_1$  y  $\hat{\beta}_2$  de tal manera que para un conjunto de datos  $\sum \hat{u}_i^2$  sea la más pequeña posible.

Para la estimación de  $\hat{\beta}_1$  y  $\hat{\beta}_2$  se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2} \quad (11)$$

$$\hat{\beta}_1 = \bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X} \quad (12)$$

Estos estimadores se conocen como estimadores de mínimos cuadrados ya que estos se derivan del principio de mínimos cuadrados y cuentan con las siguientes propiedades numéricas:

- Los estimadores MCO están expresados únicamente en términos de las cantidades observables.
- Son estimadores puntuales, esto es que dada la muestra cada estimador proporcionara un solo valor puntual del parámetro poblacional relevante.
- Una vez obtenidos los estimadores de MCO de la información muestral la recta de regresión muestral se obtiene fácilmente, teniendo las siguientes propiedades:

- Pasa a través de las medias muestrales de Y y X
- El valor promedio de  $\hat{Y}$  es igual al valor medio de Y real, es decir:

$$\bar{\hat{Y}} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \bar{X} \quad (13)$$

$$\hat{Y} = (\bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X}) + \hat{\beta}_2 X_i \quad (14)$$

$$\hat{Y} = \bar{Y} + \hat{\beta}_2 (X_i - \bar{X}) \quad (15)$$

Sumando ambos lados de esta ultima igualdad sobre los valores muestrales y dividiendo entre el tamaño de la muestra se obtiene que

$$\bar{\hat{Y}} = \bar{Y} \quad (16)$$

- El valor de la media de los residuos es cero.

Como resultado de la propiedad anterior la regresión muestral

$$Y_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_i + \hat{u}_i \quad (17)$$

- Los residuos  $\hat{u}_i$  no están correlacionados con el valor predicho de  $Y_i$ ,

$$\sum \hat{Y}_i \hat{u}_i = 0 \quad (18)$$

- Los residuos  $\hat{u}_i$  no están correlacionados con  $X_i$  esto es

$$\sum \hat{X}_i \hat{u}_i = 0 \quad (19)$$

Todo lo anterior se resume a que la media de los errores es igual a cero, homocedasticidad, no autocorrelación, y covarianza igual a cero, no multicolinealidad.

Los supuestos del modelo de regresión lineal:

1. El modelo de regresión es lineal en los parámetros

$$Y_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_i + \hat{u}_i \quad (20)$$

2. Los valores de X son fijos en muestreo repetido, los valores que toma el regresor x son considerados fijos en muestreo repetido, es decir, x no es estocástica.
3. El valor medio de la perturbación  $u_i$  es igual a cero, dado el valor de X, la media o el valor esperado del término aleatorio de perturbación  $u_i$  es cero.

$$E(u_i|X_i) = 0 \quad (20)$$

4. Homocedasticidad o igual varianza de  $u_i$  dado el valor de X, la varianza de  $u_i$  es la misma para todas las observaciones, esto es, las varianzas condicionales de  $u_i$  son idénticas  $var(u_i|X_i) = \sigma^2$
5. No existe autocorrelación entre las perturbaciones. dados dos valores cualesquiera de X, la correlación entre dos  $u_i$  cualquiera es cero.

$$cov(u_i, u_j|X_i, X_j) = 0 \text{ donde } i \neq j$$

6. La covarianza entre  $u_i$  y  $X_i$  es cero, o  $cov(u_i, X_i) = 0$
7. El número de observaciones n debe ser mayor que el número de parámetros por estimar, alternativamente el número de observaciones n, debe ser mayor que el número de variables.
8. La variabilidad en los valores de X. No todos los valores de X en una muestra dada deben ser iguales, técnicamente,  $Var(x)$  debe ser un número finito.
9. El modelo de regresión está correctamente especificado. Alternativamente no hay un sesgo de especificación o error en el modelo utilizado para el análisis empírico.
10. No hay multicolinealidad perfecta. Es decir no hay relaciones perfectamente lineales entre las variables explicativas.

La precisión de los estimadores MCO esta medida por sus errores estándar, estos no son otra cosa que la desviación estándar de la distribución muestral del estimador, y la distribución muestral de un estimador es una probabilidad o distribución de frecuencias del estimador, es decir, una distribución del conjunto de valores del estimador obtenidos de todas las muestras posibles de igual tamaño de una población dada. Las distribuciones muestrales son utilizadas para inferir los valores de los parámetros de la población con base en los valores de los estimadores calculados de una o más muestras.

Los valores estimados de mínimos cuadrados poseen propiedades óptimas o ideales, las cuales están contenidas en el teorema de Gauss – Markov, considerando la propiedad de mejor estimador lineal insesgado (MELI), se dice que un estimador es MELI si cumple con lo siguiente:

- Es lineal: función lineal de una variable aleatoria tal como la variable dependiente Y en el modelo de regresión.
- Es insesgado: su valor promedio o el valor esperado,  $E(\hat{\beta}_2)$  es igual al verdadero valor  $\beta^2$ .
- Tiene varianza mínima dentro de la clase de todos los estimadores lineales insesgados; un estimador insesgado con varianza mínima es conocido como estimador eficiente.

La bondad de ajuste:

El coeficiente de determinación  $R^2$  mide la relación de todas las variables independientes en conjunto respecto a la variable dependiente, es decir, brinda la información de proporción de la variación total en Y que puede ser explicada por la variación en las variables X.

Pueden observarse dos propiedades de  $R^2$ :

- Es una cantidad no negativa
- Sus límites son  $0 \leq r^2 \leq 1$ . Un  $r^2$  de 1 significa un ajuste perfecto, es decir  $\hat{Y}_i = Y_i$  para cada i. por otra parte un  $r^2=0$  significa que no hay relación alguna entre la variable dependiente y las variables explicativas.



## 6.4 Índice de vulnerabilidad con adaptación

De acuerdo a los escenarios planteados, se definen para cada uno de ellos los incrementos porcentuales de los indicadores de desempeño (eficiencia física y comercial) de acuerdo a las metas establecidas por el organismo operador así como los cambios en las variables climáticas consideradas para un periodo determinado para finalmente recalculer el índice de vulnerabilidad bajo estos escenarios.

### 6.4.1 Grado de exposición

#### **Precipitación y temperatura:**

Los datos de precipitación y temperatura corresponden a los valores anuales de acuerdo a los escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI (Montero Martínez, Martínez Jiménez , Castillo Pérez, & Espinosa Tamarindo, 2010).

### 6.4.2 Sensibilidad

#### **Consumo:**

Corresponde al volumen de agua consumido obtenido de la estimación de la demanda.

$$LQ_{CON} = \beta_1 LPRE_{PROM} + \beta_2 LPIB + \beta_3 LPREC_{PROM} + \beta_4 LTEMP_{PROM} + \varepsilon$$

Donde:

$LQ_{CON}$  = Logaritmo de la cantidad de agua consumida

$LPRE_{PROM}$  = Logaritmo del precio promedio

$LPIB$  = Logaritmo del Producto Interno Bruto

$LPREC_{PROM}$  = Logaritmo de la precipitación promedio

$LTEMP_{PROM}$  = Logaritmo de la temperatura promedio

$\varepsilon$  = Terminio de error

**Grado de confiabilidad:**

$$GC_n = Gm_n/I_n$$

Donde

$GC_n$  = Grado de confiabilidad

$Gm_n$  = Gastos de mantenimiento en el año n (pesos)

$I_n$  = Ingresos en el año n (pesos)

*Gastos de mantenimiento*

$$Gm_n = (Vp_{n+1} - Vp_n)(Cm_n) + (I_n)(Ym)$$

Donde

$Gm_n$  = Gastos de mantenimiento en el año n (pesos)

$Vp_{n+1}$  = Volumen producido en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vp_n$  = Volumen producido en el año n (m<sup>3</sup>)

$Cm_n$  = Costo de mantenimiento en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$I_n$  = Ingresos en el año n (pesos)

$Ym$  = Relación de gastos de mantenimiento respecto a los ingresos totales

*Ingresos*

$$I_n = I_{n-1} + (Vc_{n+1} - Vc_n)(Tf_n)$$

Donde

$I_n$  = Ingresos en el año n (pesos)

$I_{n-1}$  = Ingresos en el año n-1 (pesos)

$Vc_{n+1}$  = Volumen cobrado en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vc_n$  = Volumen cobrado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Tf_n$  = Tarifa promedio en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

**Disponibilidad:**

$$D_n = Vf_n/Ci_n$$

Donde

$D_n$  = Disponibilidad

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Ci_n$  = Capacidad instalada en el año n (m<sup>3</sup>)

### *Volumen facturado*

$$Vf_n = Q_{con}$$

Donde

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Q_{con}$  = Cantidad de agua consumida obtenida de la estimación de la demanda en el año n (m<sup>3</sup>)

### *Capacidad instalada*

$$Ci_n = cte$$

Donde

$Ci_n$  = Capacidad instalada en el año n (m<sup>3</sup>)

### **Grado de presión:**

$$GP_n = Vtc_n / Arm_n = cte$$

Donde

$GP_n$  = Grado de presión

$Vtc_n$  = Volumen total de agua concesionado en el año n (millones de m<sup>3</sup>)

$Arm_n$  = Agua renovable media en el año n (millones de m<sup>3</sup>)

### **Eficiencia económica:**

$$EE_n = Tf_n / Ct_n$$

Donde

$EE_n$  = Eficiencia económica

$Tf_n$  = Tarifa promedio en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Ct_n$  = Costos totales de producción en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

### *Tarifa*

$$Tf_n = PRE_{PROM}$$

$Tf_n$  = Tarifa promedio en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$PRE_{PROM}$  = Precio promedio obtenido de la estimación de la demanda en el año n (pesos)

### Costos totales

$$Ct_n = E_n/Vpf_n$$

Donde

$Ct_n$  = Costos totales de producción en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$E_n$  = Egresos en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Vpf_n$  = Volumen producido tras reparación de fugas en el año n (m<sup>3</sup>)

$$E_n = E_{n-1} + ((Vf_{n+1} - Vf_n)(Cc_n)) + ((Vpf_{n+1} - Vpf_n)(Cp_n)) + ((Vc_{n+1} - Vc_n)(Cc_n)) + ((Vpf_{n+1} - Vpf_n)(Cd_n)) + ((Vf_{n+1} - Vf_n)(Ca_n))$$

Donde

$E_n$  = Egresos en el año n (pesos)

$E_{n-1}$  = Egresos en el año n-1 (pesos)

$Vf_{n+1}$  = Volumen facturado en el año n+1(m<sup>3</sup>)

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vpf_{n+1}$  = Volumen producido tras reparación de fugas en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vpf_n$  = Volumen producido tras reparación de fugas en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vc_{n+1}$  = Volumen cobrado en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vc_n$  = Volumen cobrado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Cc_n$  = Costo de comercialización en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Cp_n$  = Costo de producción en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Cd_n$  = Costo de distribución en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Ca_n$  = Costo de administración en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$$Vpf_n = Vp_n - \left( Vp_n(1 - Ef_{n-1}) - \left( \frac{Vp_n(Ef_{n-1})}{Ef_n} - Vp_n(Ef_{n-1}) \right) \right)$$

Donde

$Vpf_n$  = Volumen producido tras reparación de fugas en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vp_n$  = Volumen producido en el año n (m<sup>3</sup>)

$Ef_{n-1}$  = Eficiencia física en el año n-1(antes de la mejora)

$Ef_n$  = Eficiencia física en el año n (con mejora)

$$Vp_n = Vf_n/Ef_n$$

Donde

$Vp_n$  = Volumen producido en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Ef_n$  = Eficiencia física en el año n

### 6.4.3 Capacidad de adaptación

#### **Eficiencia física:**

$$EF_n = \frac{Vf_{n-1}}{Vpf_{n-1}} + \frac{Ef_2 - Ef_1}{P_2 - P_1}$$

Donde

$EF_n$  = Eficiencia física

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vpf_n$  = Volumen producido tras reparación de fugas en el año n (m<sup>3</sup>)

$Ef_1$  = Eficiencia física al inicio del periodo proyectado

$Ef_2$  = Eficiencia física esperada al final del periodo proyectado

$P_2 - P_1$  = Periodo proyectado

#### **Eficiencia comercial:**

$$EC_n = \frac{Vc_n}{Vf_n} = \frac{(Vf_n)(Ec_{n-1} + \frac{Ec_2 - Ec_1}{P_2 - P_1})}{Q_{con}}$$

Donde

$EC_n$  = Eficiencia comercial

$Vc_n$  = Volumen cobrado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Ec_n$  = Eficiencia comercial en el año n-1

$Ec_1$  = Eficiencia comercial al inicio del periodo proyectado

$Ec_2$  = Eficiencia comercial esperada al final del periodo proyectado

$P_2 - P_1$  = Periodo proyectado

$Q_{con}$  = Cantidad de agua consumida obtenida de la estimación de la demanda en el año n (m<sup>3</sup>)

## 6.5 Evaluación de costos de adaptación

Una vez evaluado el nivel de vulnerabilidad, la evaluación de costos tiene la finalidad de expresar el efecto de la adaptación en términos monetarios.

La función de costos refleja la tecnología utilizada en la producción de un bien, ésta tiene propiedades específicas en relación a los precios, a saber: es no decreciente, homogénea de grado uno, cóncava y continua.

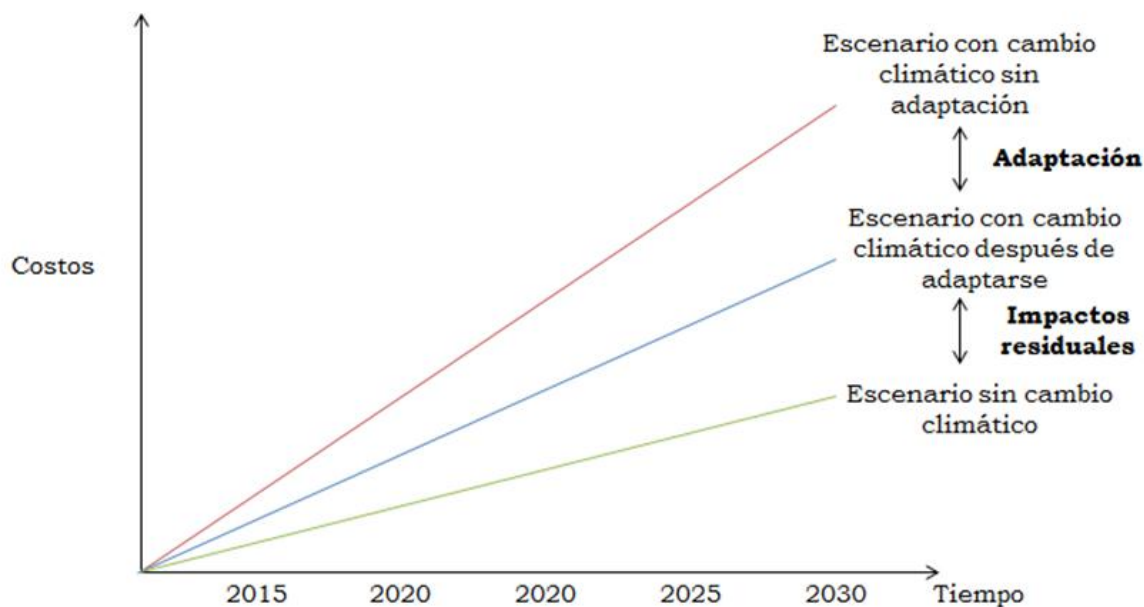
El problema mayor en la determinación de las funciones de costos de adaptación al cambio climático es que deben ser pronosticadas para largos periodos de tiempo, lo que haría muy plausible la propiedad de la concavidad en precios, sin embargo, el nivel de incertidumbre y la ausencia de mercados con un funcionamiento adecuado nos harán suponer una función de costos pasiva, es decir, una en donde los agentes no reaccionan eligiendo distintas canastas de insumos, sino que la canasta óptima determinada en el momento actual se conserva y por tanto la función de costos es lineal y aditiva.

Los organismos operadores de agua potable utilizan diversos procedimientos para la producción del bien agua potable. Partimos del hecho que la función de costos puede descomponerse en sus distintos procesos y que para cada uno de estos procesos es posible determinar una función de costos particular.

Los procesos de producción que interesan son los que tienen que ver directamente con el índice de vulnerabilidad, es decir únicamente aquellos que están relacionados con los factores de sensibilidad y capacidad de adaptación.

Bajo ese contexto, el costo de disminuir el nivel de vulnerabilidad de un organismo operador, está dado por el impacto estimado del cambio climático en ausencia de adaptación, menos el impacto estimado con adaptación, ambos evaluados a través del índice de vulnerabilidad y los escenarios anteriormente descritos.

Dicha adaptación, dada por un incremento en los niveles de desempeño de un organismo operador, representa los costos de inversión que implican mejorar la infraestructura más la diferencia entre los egresos bajo un escenario con y sin cambio climático.



**Figura 10. Adaptación al cambio climático respecto a un escenario de referencia**

El hecho de plantear una función de costos lineal y aditiva facilita el cálculo y minimiza la cantidad de información necesaria para el cálculo de la función de costos de largo plazo. Así, para calcular los costos totales de adaptación, se propone utilizar un pronóstico de los costos unitarios de cada una de las partes en las que se dividió el costo de producción de agua potable.

Estos costos unitarios representan los costos de producción, distribución, administración y comercialización que implican la extracción, distribución y suministro de agua potable.

El costo de adaptación se supone proporcional al volumen de agua producida y considera dos elementos: el costo de inversión que implican incrementar los niveles de eficiencia física y comercial (costos por reparación de fugas y costos de comercialización); y la diferencia del costo de producir, facturar y/o cobrar determinado volumen de agua bajo un escenario de cambio climático y considerando únicamente el crecimiento de la población.

### ***Costos de adaptación***

$$= \text{Costos de inversión} \\ + \left( \text{Egresos}_{\text{con cambio climático con adaptación}} - \text{Egresos}_{\text{con cambio climático sin adaptación}} \right)$$

### **Costos de inversión**

$$CI_n = Cr_n (Vp_n - Vpf_n)$$

Donde

$CI_n$  = Costos de inversión (pesos)

$Cr_n$  = Costo por reparación de fugas (\$/m<sup>3</sup>)

$Vp_n$  = Volumen producido (m<sup>3</sup>)

$Vpf_n$  = Volumen producido tras reparación de fugas (m<sup>3</sup>)

### **Egresos**

$$E_n = ((Vf_{n+1} - Vf_n)(Cc_n)) + ((Vp_{n+1} - Vp_n)(Cp_n)) + ((Vc_{n+1} - Vc_n)(Cc_n)) + \\ ((Vp_{n+1} - Vp_n)(Cd_n)) + ((Vf_{n+1} - Vf_n)(Ca_n))$$

Donde

$E_n$  = Egresos en el año n (pesos)

$Vf_{n+1}$  = Volumen facturado en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vf_n$  = Volumen facturado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vp_{n+1}$  = Volumen producido en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vp_n$  = Volumen producido en el año n (m<sup>3</sup>)

$Vc_{n+1}$  = Volumen cobrado en el año n+1 (m<sup>3</sup>)

$Vc_n$  = Volumen cobrado en el año n (m<sup>3</sup>)

$Cc_n$  = Costo de comercialización en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Cp_n$  = Costo de producción en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Cd_n$  = Costo de distribución en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

$Ca_n$  = Costo de administración en el año n (pesos/m<sup>3</sup>)

De acuerdo con el nivel o el grado al que desea llevarse la adaptación, los costos se verán afectados, dado que en términos generales, la adaptación puede tener como objetivo: (I) el mantenimiento de un determinado nivel de servicio, (II) lograr



un nuevo nivel de servicio "óptimo", o (III) el cumplimiento de algún nuevo estándar (Parry, y otros, 2009).

Dichos objetivos derivados deberán ser planteados por los tomadores de decisiones a través de la comprensión de los efectos del cambio climático para una adecuada gestión del agua teniendo en consideración que dichas medidas podrían no eliminar todas las consecuencias del cambio climático por lo que habrá impactos residuales. Estos impactos se producirán debido a la adaptación puede retrasarse el cambio climático o bien en ausencia de cambio climático, podrán presentarse hechos que superen los estándares de diseño.

## 7. EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: COMISIÓN ESTATAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE MEXICALI

La metodología descrita se probó en la ciudad de Mexicali dada su ubicación geográfica y sus indicadores de desempeño que permitieron mejorar y evaluar la funcionalidad de la metodología de evaluación propuesta.

La información utilizada tanto para la elaboración de este apartado como para el cálculo de los costos y la estimación de la demanda fueron proporcionados por la Comisión Estatal de Agua de Baja California en la visita realizada por miembros del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en septiembre de 2012.

### 7.1 Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali

Mexicali se localiza al noreste del Estado de Baja California, en las coordenadas 30° 57' 40" - 32° 43' 00" latitud norte y 115° 21' 50" - 115° 40' 20" longitud oeste.

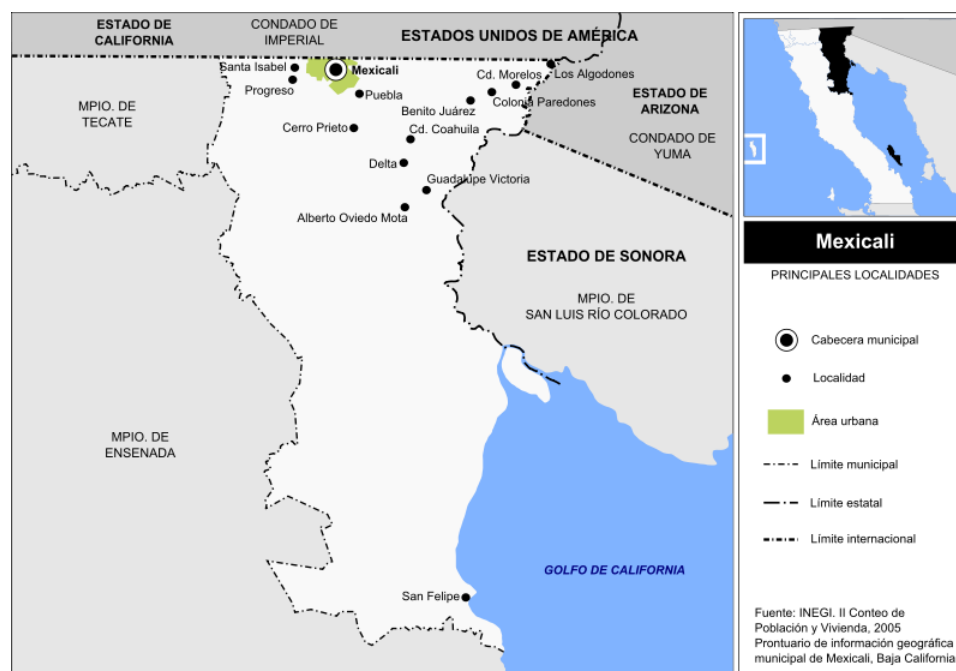


Figura 11. Ubicación geográfica (Mexicali)

Limita al norte y al este con Estados Unidos de América; al este con Estados Unidos de América, estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el Golfo de California y el municipio de Ensenada; al oeste con los municipios de

Ensenada y Tecate y con Estados Unidos de América. Su división política comprende 14 delegaciones municipales: Colonia Progreso, Hechicera, Ciudad Morelos, Bataquez, Cerro Prieto, Colonia Venustiano Carranza, Colonias Nuevas, San Felipe, Los Algodones, Estación Delta, Guadalupe Victoria, Benito Juárez, González Ortega y Hermosillo. En el año de 2009 había cerca de un millón de habitantes en el municipio de Mexicali, lo que representa un poco más del 30% del total del estado.

El municipio de Mexicali es operado por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), creada mediante Decreto de fecha 10 de diciembre de 1967, actualmente esta conformada por 1191 empleados e integrada por cuatro subdirecciones: Administrativa, Obras, Comercial y Agua y Saneamiento, con sus respectivos apoyos de las áreas de la Unidad Jurídica, Control Interno, Relaciones Públicas y Planeación.

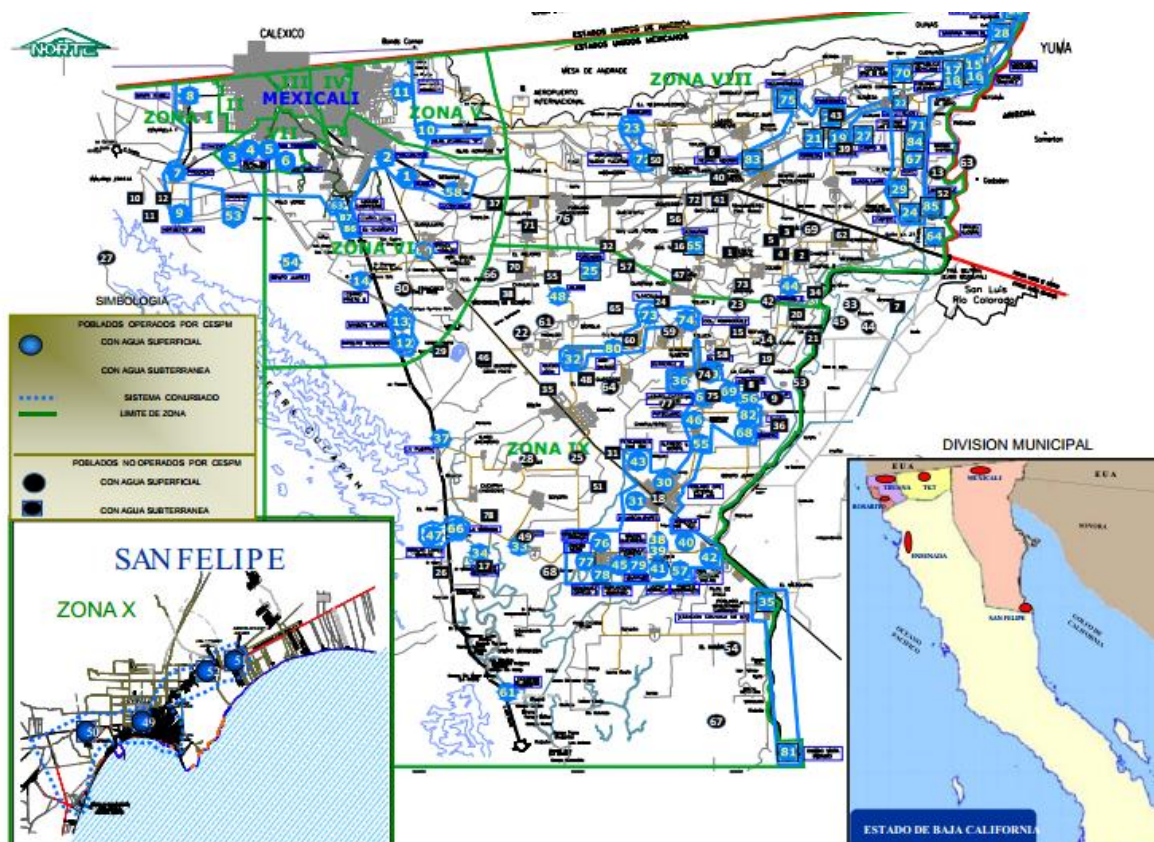


Figura 12. Sistema de agua potable de la ciudad de Mexicali

Actualmente además de la Cabecera municipal opera 80 localidades que representan el 92% del total de la población municipal. El resto son operados por comités de agua integrados por los mismos usuarios.

Mexicali se abastece de agua del Río Colorado de acuerdo a un Tratado Sobre la Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de Norte América, relativo a la utilización de las aguas de los Ríos Colorado, Tijuana y Bravo (Río Grande), firmado en Washington, D. C. el 3 de febrero de 1944, con el interés de los dos países para disponer de las aguas de estos tres ríos.

El agua del Río Colorado se capta en México en la estructura derivadora denominada "Presa Morelos", que se encuentra en el poblado fronterizo de "Los Algodones, B.C. el agua fluye por los canales del Distrito de Riego no. 14, donde el canal Benassini abastece a dos de las tres plantas potabilizadoras de la Cd. de Mexicali (Planta Potabilizadora No. 1 y Planta Potabilizadora No. 2) y el canal Reforma abastece a la tercera denominada Planta Potabilizadora No. 3.

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, opera tres plantas potabilizadoras con las que abastece la Ciudad de Mexicali y 26 sistemas en el Valle y San Felipe.

**Tabla 13. Plantas potabilizadoras. Mexicali**

<b>PLANTA POTABILIZADORA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD DE TRATAMIENTO</b>	<b>CAUDAL PRODUCIDO</b>
<b>No. 1</b>	Colonia Pro Hogar	1800 l.p.s	379 l.p.s
<b>No. 2</b>	Colonia Calles	2500 l.p.s	1582 l.p.s
<b>No. 3</b>	Colonia Xochimilco	1250 l.p.s	548 l.p.s
<b>Total</b>		<b>5550 l.p.s</b>	<b>2509 l.p.s</b>

En la ciudad, las plantas existentes en su conjunto tienen la capacidad para potabilizar 5550 lps. Los permisos concesionados para explotación de agua superficial y subterránea para la zona urbana suman 3413 lps.

La ciudad cuenta con una cobertura del servicio de agua potable mayor al 99%. Lo que significa 2,888.2 kilómetros lineales de tubería de diferentes diámetros que forman la red del sistema que abastece de agua la mancha urbana.

Las coberturas de agua potable, así como el número de medidores en la ciudad de Mexicali y en otras localidades en la zona conurbada son las siguientes:

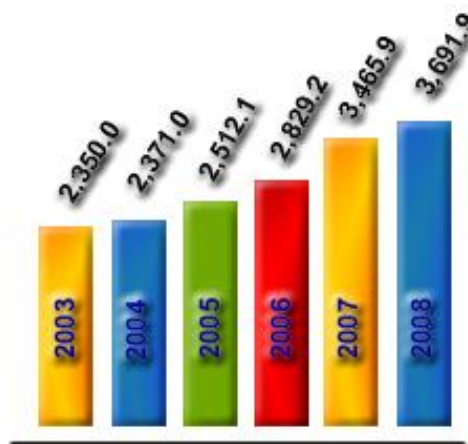


Figura 13. Longitud de tubería de agua potable en la ciudad de Mexicali, en kilómetros

Tabla 14. Cobertura de agua potable (2011). Mexicali

MEXICALI	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN SERVIDA	COBERTURA (%)	NO. DE TOMAS
<b>Ciudad de Mexicali</b>	788,944	785,102	99.51	300,509
<b>Localidades con sistemas operados por organismo operador</b>	101,434	99,006	97.61	35,326
<b>Localidades con sistemas no operados por organismo operador</b>	75,814	66,979	88.00	-
<b>Localidades menores de 100 habitantes con autoabastecimiento</b>	2506	-	-	-
<b>Total</b>	968,698	951,087	98.00	335,835

Del padrón total de tomas, el 93.4% corresponden a tomas domésticas y el resto comercial e industrial.

## Operatividad y administración del sistema

Los indicadores de gestión de la CESPМ al 31 de diciembre de 2011, muestran los resultados siguientes:

**Tabla 15. Indicadores (2011). CESPМ**

CONCEPTO	UNIDAD	ACUMULADO A DICIEMBRE DE 2011
Población servida	Habitantes	785,102
Conexiones	Conexiones	300,509
Cobertura	%	99.51
Generación	m <sup>3</sup>	82,128,615
Facturación	m <sup>3</sup>	71,423,458
Facturación	pesos	776,835,352
Cobranza	pesos	696,019,051
Eficiencia física	%	86.46
Eficiencia comercial	%	89.60
Eficiencia global	%	77.46

La producción de agua potable respecto a la proporción de agua facturada representa pérdidas por robos o fugas en la red cercanas a 10,000 m<sup>3</sup>.

Considerando que la medición es un requisito para la facturación y la cobranza, se puede observar una destacada cobertura de medición que refleja la salud financiera y la inducción al pago por parte de los consumidores, lo que se relaciona con el uso eficiente del agua.

**Tabla 16. Cobertura de medición (2011). CESPМ**

NO. DE CONEXIONES DOMÉSTICAS	NO. DE MEDIDORES INSTALADOS	NO. DE CONEXIONES SIN MEDIDOR	COBERTURA DE MEDICIÓN (%)
280,594	279,152	1,442	99.5

En dimensiones administrativas, en lo relativo a la eficiencia en la cobranza por concepto de venta de agua al término del año 2011, Mexicali, presentó ingresos menores a su facturación anual, es decir logra recaudar cerca del 90% del

volumen que facturan que si bien es alto, en otros organismos operadores del país este indicador refleja el déficit existente que se traduce en poca disponibilidad de recursos financieros para hacer frente a los compromisos de inversión y de mantenimiento de los servicios.

**Tabla 17. Eficiencia de cobro**

<b>FACTURACIÓN ANUAL (PESOS)</b>	<b>VOLUMEN ANUAL FACTURADO (M<sup>3</sup>)</b>	<b>INGRESOS ANUALES POR VENTA DE AGUA (PESOS)</b>
776,835,352	71,423,458	696,019,051

Respecto a la operatividad en sus balances anuales de ingresos y egresos totales, los egresos superaron los ingresos, lo que genera un déficit de 147,457,532 pesos.

**Tabla 18. Índice operativo (2011). Mexicali**

<b>INGRESOS (PESOS)</b>	<b>EGRESOS (PESOS)</b>	<b>ÍNDICE OPERATIVO</b>
982,146,536	1,129,604,068	0.87

### **Sistema Tarifario**

Al final de cada año se publica en el Periódico Oficial del estado de Baja California la Ley de Ingresos del Estado, en la que se especifican los conceptos autorizados para cobro por parte de los organismos operadores de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento, estos incluyen derechos por consumo de agua potable, uso doméstico, uso no doméstico, aguas residuales tratadas y aguas residuales sin tratar.

Actualmente aún se continúa estimando el cobro del servicio de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento en un solo concepto de “derechos de servicio de agua”.

El mecanismo de cálculo o estimación por el consumo, se hace de acuerdo a rangos de consumo en forma escalonada y ascendente, estos parámetros se estiman en función del número de m<sup>3</sup> consumidos por el usuario. El precio se calcula por el costo marginal de los m<sup>3</sup> y el número de usuarios de cada rango

actual y potencial. Esta información está contenida en el Presupuesto de Ingresos de cada Comisión, ya que la tarifa debe solventar los gastos de operación del sistema más las obras de reposiciones y rehabilitaciones que se realicen durante el siguiente ejercicio fiscal.

De acuerdo a las necesidades de cada organismo operador, la tarifa tiene precios diferentes, en el caso de la CESPМ esta varía de la ciudad de Mexicali, Guadalupe Victoria y San Felipe.



## 7.2 Índice de vulnerabilidad

De acuerdo a la información proporcionada por la Comisión Estatal del Agua de Baja California, se evaluó el grado de susceptibilidad de la CESPМ medido a través del índice de vulnerabilidad descrito anteriormente.

Los valores de los indicadores se basan únicamente en datos para la ciudad de Mexicali en el periodo correspondiente al 2009.

**Tabla 19. Índice de vulnerabilidad. Mexicali**

FACTORES DE VULNERABILIDAD	INDICADOR	RANGO		PONDERACIÓN (Grado de vulnerabilidad)	MEXICALI 2009	
		Real	Normalizado		Valor normalizado	Valor ponderado
<b>Grado de exposición</b>	°C	0 - 1.0	1.00 - 3.25	1	1.00	1.00
		1.0- 2.0	3.25 - 5.50	2		
		2.0 - 4.0	5.50 - 10.00	3		
	% variación	-11.0 - -15.0	1.00 - 4.27	1	1.00	1.00
		-15.0 - -19.0	4.27 - 7.55	2		
		-19.0 - -22.0	7.55 - 10.00	3		
<b>Sensibilidad</b>	Consumo (l/h/d)	100 - 150	1.00 - 2.29	1	5.17	10.33
		150 - 300	2.29 - 6.14	2		
		300 - 450	6.14 - 10.00	3		
	Grado de confiabilidad: Costos de mtto./Ingreso total	0 - 0.15	10.00 - 7.00	3	9.06	27.17
		0.15 - 0.30	7.00 - 4.00	2		
		0.30 - 0.45	4.00 - 1.00	1		
	Demanda/Oferta	0.20 - 0.40	1.00 - 3.25	1	3.37	6.75
		0.40 - 0.70	3.25 - 6.63	2		
		0.70 - 1.0	6.63 - 10.00	3		
	Grado de presión (%): Vol.	0 - 20	1.00 - 2.50	1	1.05	1.05
		20 - 40	2.50 - 4.00	2		
	Concesionario/Agua renovable	40 - 120	4.00 - 10.00	3	9.86	29.59
		0 - 1.0	10.00 - 9.74	3		
		1.0 - 6.0	9.74 - 8.46	2		
	Tarifa/Costos de producción	6.0 - 35.0	8.46 - 1.00	1	3.56	3.56
0.40- 0.50		10.00 - 8.50	3			
0.50 - 0.70		8.50 - 5.50	2			
<b>Capacidad de adaptación</b>	Eficiencia física (%)	0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1	3.80	3.80
		0.40- 0.50	10.00 - 8.50	3		
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2		
	Eficiencia comercial (%)	0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1	3.80	3.80
		0.40- 0.50	10.00 - 8.50	3		
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2		
<b>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</b>						<b>84.25</b>

Los indicadores con mayor peso en el cálculo del índice de acuerdo a las condiciones de operación y administración de la CESPМ son eficiencia económica, confiabilidad de la infraestructura y consumo.

La eficiencia económica presenta un valor menor a uno, es decir la tarifa es menor a los costos de producción. Este indicador representa cerca de un 35% del índice, un grado de sensibilidad alto y que podría verse incrementado considerando por un lado que las condiciones de disponibilidad pueden cambiar lo que afectaría de manera directa los costos de operación, o bien, mantener los niveles de eficiencia actuales implica aumentar la capacidad económica del organismo operador.

La variable confiabilidad de la infraestructura representa un 32% del índice, es decir, un 4% de los ingresos totales del organismo son destinados a mantenimiento de la infraestructura; si bien la eficiencia física actualmente no se ve afectada, las medidas deberán ser rutinariamente implementadas para mantener las condiciones operativas actuales a fin no exceder el periodo de vida de la infraestructura y ante cambios en la calidad o condiciones climáticas no resulten desproporcionados incrementos en dichos costos.

### 7.3 Identificación de medidas de adaptación

Considerando los efectos del cambio climático a nivel local a través del análisis de vulnerabilidad, se construyen recomendaciones de adaptación fundamentadas en la gestión del agua a partir de los siguientes escenarios:

1. Escenario 1 (escenario base). Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, la tarifa permanece constante y no hay inversión económica en ninguna de las variables que intervienen en el cálculo del índice por lo que es de esperarse que la vulnerabilidad aumente al igual que los costos de operación que deberán satisfacer el incremento de la demanda.
2. Escenario 2. Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta 2.9° C respecto a la climatología base (1961-1990), no hay inversión económica en ninguna de las variables que intervienen en el cálculo del índice por lo que es de esperarse que la vulnerabilidad aumente. Se satisface la demanda por lo que aumentan los costos de operación. No hay aumento de tarifas.
3. Escenario 3. Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta 2.9° C respecto a la climatología base (1961-1990), se mantienen los niveles de eficiencia física y comercial constantes por lo que aumentan los costos de operación y mantenimiento, que se financian totalmente con aumento en las tarifas de agua.
4. Escenario 4. Crecen las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta 2.9° C respecto a la climatología base (1961-1990), se incrementan los niveles de eficiencia física. Se financia el incremento de eficiencia a través de las tarifas del agua.

### 7.3 Estimación de la demanda

Se considera que el consumo de agua esta en función del precio, ingreso y de variables climatológicas que influyen en el, así, a fin de determinar las correlaciones entre estas variables y estimar el volumen consumido al año 2030 en la ciudad de Mexicali se aplicó el análisis de regresión.

Los datos sobre volumen facturado, tarifa, Producto Interno Bruto y población, se obtuvieron para un periodo de 2002-2011 de acuerdo a las publicaciones del Programa de Indicadores de Gestión en Organismos Operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2009).

La variable climatológica, corresponde a la temperatura promedio anual para el periodo 2002-2011 de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2010).

Los datos de demanda o volumen consumido corresponden al líquido que se consume por cada habitante; considerando que no todo el volumen producido llega al usuario, el cálculo considera el volumen de agua facturada entre la población lo que toma en consideración el agua no contabilizada.

En la siguiente tabla se muestran los datos utilizados para la estimación de la demanda así como los resultados obtenidos del análisis de regresión.

**Tabla 20. Base de datos utilizada para la estimación de la demanda**

AÑO	VOLUMEN FACTURADO ANUAL (M <sup>3</sup> )	PIB (\$)	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL (°C)	TARIFA PROMEDIO (\$)	POBLACIÓN	VOLUMEN CONSUMIDO (L/H/D)
	LQ <sub>CON</sub>	LPIB	LTEM <sub>PROM</sub>	LPRE <sub>PROM</sub>		
2002	68017378.00	61012642171.52	22.021	2.88	622,111	299.542977
2003	67935865.00	61649431143.19	22.118	3.17	638,764	291.384075
2004	69922965.00	62247631037.69	22.891	3.49	655,863	292.088084
2005	70351722.00	68520187639.60	22.050	3.75	673,419	286.21771
2006	71877512.00	68129586320.70	22.933	3.95	691,446	284.801258
2007	71032024.00	67788168007.13	22.444	4.24	709,955	274.113549
2008	70936088.00	67501408856.09	19.517	4.45	728,959	266.606828
2009	71937098.00	70014397120.59	19.667	5.36	748,472	263.320391
2010	70022134.00	71631731960.90	21.256	5.69	768,507	249.628778
2011	71423458.00	73314685203.45	21.442	5.9	777,487	251.683506

Tabla 21. Resultados del análisis de regresión

DEPENDENT VARIABLE: LCONSU METHOD: LEAST SQUARES SAMPLE: 2002 2011 INCLUDED OBSERVATIONS: 10				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
<b>LTAR</b>	-0.29487	0.017824	-16.54374	0
<b>LPIB</b>	0.17876	0.010668	16.75656	0
<b>LTEMP_IMTA</b>	0.185881	0.081579	2.27855	0.0629
<b>DUMMY09</b>	0.042861	0.013113	3.268511	0.0171
<b>R-squared</b>	0.983325	<b>Mean dependent var</b>		4.610476
<b>Adjusted R-squared</b>	0.974987	<b>S.D. dependent var</b>		0.064261
<b>S.E. of regression</b>	0.010163	<b>Akaike info criterion</b>		-6.050912
<b>Sum squared resid</b>	0.00062	<b>Schwarz criterion</b>		-5.929878
<b>Log likelihood</b>	34.25456	<b>Durbin-Watson stat</b>		2.135689

De acuerdo a los resultados de la estimación, la demanda para la ciudad de Mexicali esta dada por la siguiente ecuación:

$$LQ_{CON} = -0.29487 LPRE_{PROM} + 0.17876 LPREC_{PROM} + 0.185881 LTEMP_{PROM} + 0.042861(Dummy)$$

Donde:

$LQ_{CON}$  = Logaritmo de la cantidad de agua consumida

$LPRE_{PROM}$  = Logaritmo del precio promedio

$LPIB$  = Logaritmo del Producto Interno Bruto

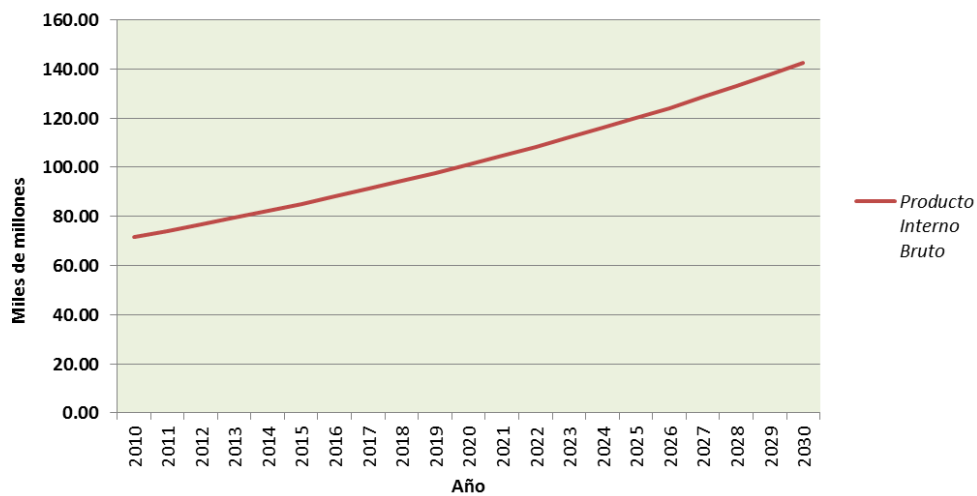
$LPREC_{PROM}$  = Logaritmo de la precipitación promedio

$LTEMP_{PROM}$  = Logaritmo de la temperatura promedio

Para mayor información sobre los resultados del modelo y sobre las pruebas estadísticas a los que fue sometido para soportar su validez, puede revisarse el anexo técnico.

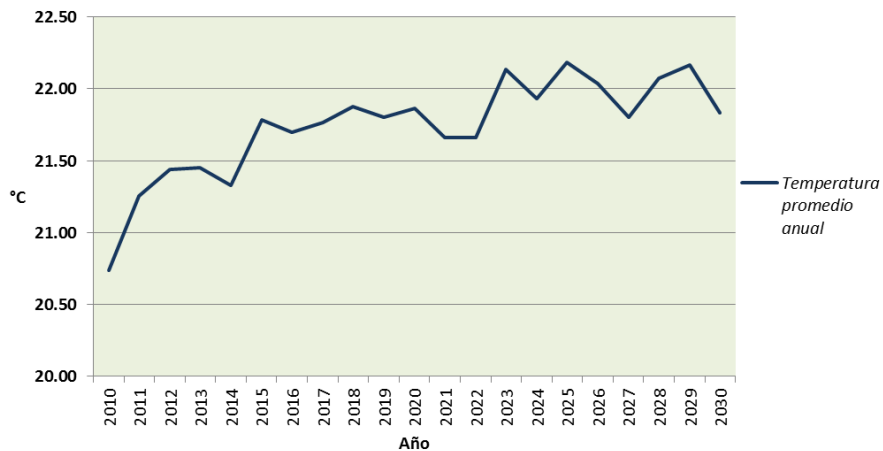
Con esta función de demanda se calcula la cantidad demandada de agua para cada uno de los escenarios propuestos bajo los siguientes supuestos:

Se espera para un escenario base un crecimiento del PIB en México de un 3.5% anual en promedio y una modificación de las tarifas de acuerdo a una tasa de inflación del 3% anual.



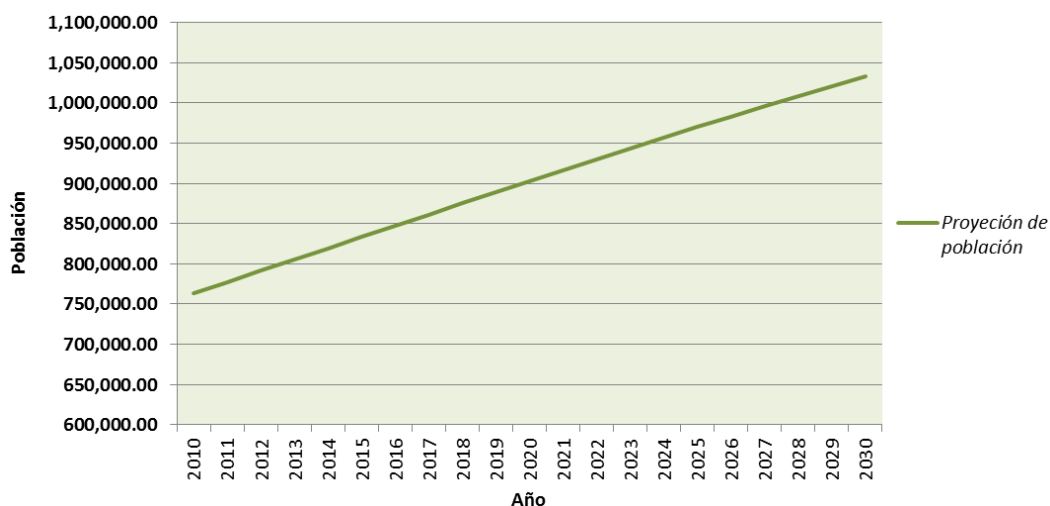
**Figura 14. Crecimiento proyectado del PIB**

Las variables climatológicas empleadas corresponden a valores anuales de acuerdo a los escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI para la ciudad de Mexicali de acuerdo al Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el cambio climático (Montero Martínez, Martínez Jiménez , Castillo Pérez, & Espinosa Tamarindo, 2010).



**Figura 15. Temperatura promedio anual proyectada**

Los datos de crecimiento poblacional fueron calculados empleando la proyección de población 2005-2030 generada por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), con base al Censo de Población del INEGI 2005.

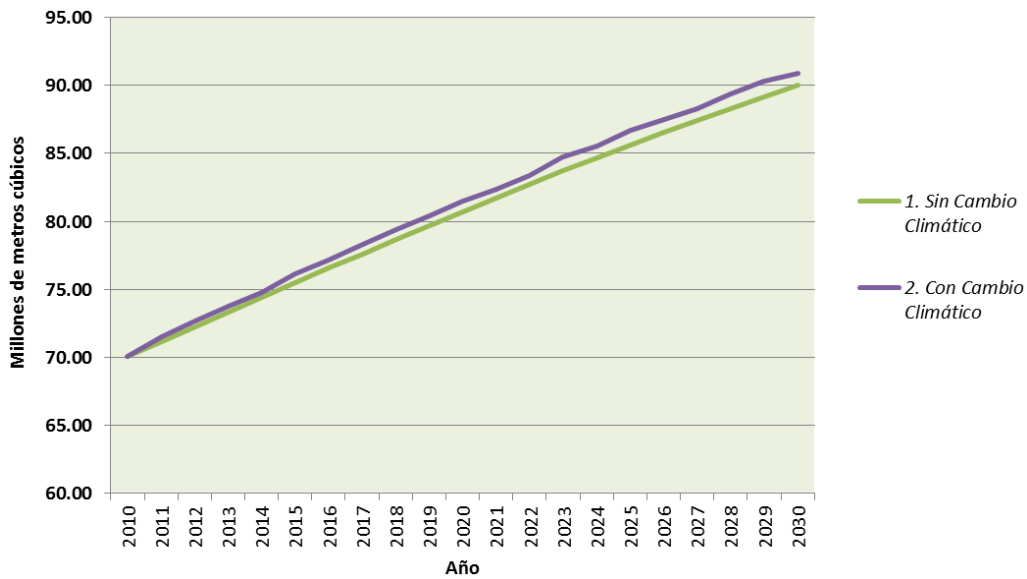


**Figura 16. Crecimiento de población proyectado. Mexicali**

Los resultados obtenidos de la estimación de la demanda se muestran a continuación:

**Tabla 22. Resultados de estimación de la demanda con y sin cambio climático (Volumen facturado m<sup>3</sup>)**

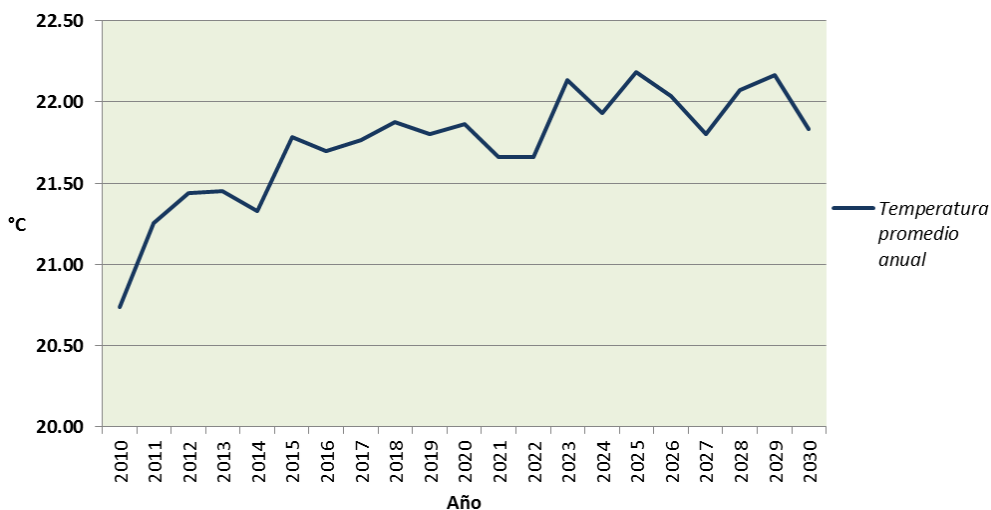
AÑO	ESCENARIO 1 (Sin cambio climático)	ESCENARIO 2 (Con cambio climático)	INCREMENTO PORCENTUAL
2010	70,046,262.66	70,046,262.66	0.000%
2011	71,145,445.22	71,471,287.09	0.458%
2012	72,236,759.95	72,685,110.38	0.621%
2013	73,321,128.75	73,780,792.45	0.627%
2014	74,397,920.83	74,783,967.65	0.519%
2015	75,468,564.74	76,160,231.05	0.916%
2016	76,533,012.15	77,178,876.18	0.844%
2017	77,590,413.18	78,290,943.81	0.903%
2018	78,638,471.90	79,422,284.35	0.997%
2019	79,675,714.28	80,417,942.09	0.932%
2020	80,701,912.03	81,498,787.35	0.987%
2021	81,715,323.61	82,376,605.05	0.809%
2022	82,714,801.75	83,386,616.32	0.812%
2023	83,698,205.88	84,718,298.88	1.219%
2024	84,663,346.24	85,545,316.24	1.042%
2025	85,608,556.23	86,688,279.40	1.261%
2026	86,533,042.20	87,515,233.00	1.135%
2027	87,436,232.61	88,253,889.36	0.935%
2028	88,317,420.70	89,346,842.70	1.166%
2029	89,176,049.21	90,286,261.24	1.245%
2030	90,010,932.51	90,873,954.06	0.959%



**Figura 17. Volumen facturado con y sin cambio climático**

La variable de temperatura incorporada en la función de demanda refleja el efecto de esta en los niveles de consumo que proyectados al 2030 muestran un incremento en cerca de un 1% que equivale a 863 hm<sup>3</sup>. Este incremento implica un aumento de los costos de producción considerando que ninguna medida de adaptación es implementada.

Si bien la demanda no presenta un crecimiento lineal ya que las condiciones climáticas varían año con año, esta tiende a incrementar a lo largo del tiempo como se muestra en la gráfica siguiente.



**Figura 18. Incremento de la demanda, respecto al escenario base**



## 7.4 Índice de vulnerabilidad y evaluación de costos de adaptación

De acuerdo a los escenarios planteados, se definieron para cada uno de ellos los cambios en las variables climáticas, los incrementos porcentuales de los indicadores de desempeño y las tasas de crecimiento de población, PIB y tarifas.

El índice de vulnerabilidad es calculado al 2030 bajo el supuesto de que dichas medidas permitirán disminuir el nivel de vulnerabilidad ante un escenario de cambio climático y finalmente se presentan los costos de adaptación que corresponden al incremento de los egresos respecto al escenario base.

### 7.4.1 Escenario 1

Corresponde a un escenario sin cambio climático, en el que no se presentan incrementos de temperatura, los niveles de desempeño permanecen constantes y no hay incremento de las tarifas.

VARIABLE	INCREMENTO
Temperatura	0
Población	2.7% anual
PIB	3.5% anual
Tarifa	3% anual
Eficiencia física	0

Bajo dichos supuestos, el índice de vulnerabilidad se incrementa 2 puntos, de 98.6 a 100.6. Este incremento esta dado en su mayoría por el crecimiento poblacional.

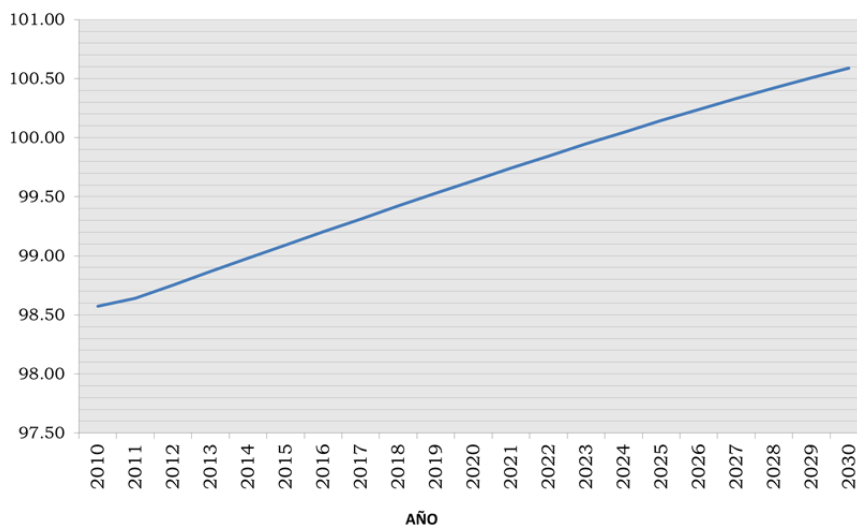


Figura 19. Índice de vulnerabilidad. Escenario 1

Considerando que la población se incrementa, el consumo per cápita, medido en litros/habitante/día se reduce ligeramente de 188 a 179 l/h/d. Si bien la disminución de la demanda reduce la vulnerabilidad, el indicador de disponibilidad la aumenta ya que el crecimiento de la población incrementa el volumen consumido total y considerando que la capacidad instalada no cambia, se reduce el volumen disponible para satisfacer las demandas de agua potable.

**Tabla 23. Indicadores de vulnerabilidad. Escenario 1**

AÑO	INCREMENTO DE TEMPERATURA	CONSUMO (l/h/d)	GRADO DE CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD	GRADO DE PRESIÓN (%)	EFICIENCIA ECONÓMICA	EFICIENCIA FÍSICA	EFICIENCIA COMERCIAL
2010	0.000	188.51	0.045	0.400	73%	0.48	0.874	0.787
2011	0.000	188.03	0.046	0.406	73%	0.48	0.874	0.787
2012	0.000	187.55	0.046	0.413	73%	0.48	0.874	0.787
2013	0.000	187.07	0.046	0.419	73%	0.49	0.874	0.787
2014	0.000	186.59	0.045	0.425	73%	0.49	0.874	0.787
2015	0.000	186.11	0.045	0.431	73%	0.49	0.874	0.787
2016	0.000	185.63	0.045	0.437	73%	0.49	0.874	0.787
2017	0.000	185.15	0.045	0.443	73%	0.50	0.874	0.787
2018	0.000	184.68	0.045	0.449	73%	0.50	0.874	0.787
2019	0.000	184.21	0.045	0.455	73%	0.50	0.874	0.787
2020	0.000	183.73	0.045	0.461	73%	0.50	0.874	0.787
2021	0.000	183.26	0.045	0.467	73%	0.50	0.874	0.787
2022	0.000	182.79	0.045	0.473	73%	0.51	0.874	0.787
2023	0.000	182.33	0.045	0.478	73%	0.51	0.874	0.787
2024	0.000	181.86	0.045	0.484	73%	0.51	0.874	0.787
2025	0.000	181.39	0.045	0.489	73%	0.51	0.874	0.787
2026	0.000	180.93	0.045	0.494	73%	0.51	0.874	0.787
2027	0.000	180.46	0.045	0.500	73%	0.52	0.874	0.787
2028	0.000	180.00	0.045	0.505	73%	0.52	0.874	0.787
2029	0.000	179.54	0.045	0.510	73%	0.52	0.874	0.787
2030	0.000	179.08	0.045	0.514	73%	0.52	0.874	0.787

Los costos de este escenario no incluyen ningún efecto climático por lo que corresponden a los costos en el escenario base que permitirán evaluar el impacto del cambio en los costos de producción, suministro y distribución de agua potable.

**Tabla 24. Costos totales. Escenario base**

AÑO	COSTOS TOTALES	AÑO	COSTOS TOTALES	AÑO	COSTOS TOTALES
2010	950,459,203.26	2017	1,251,535,543.37	2024	1,634,462,316.94
2011	989,050,804.17	2018	1,300,899,587.33	2025	1,696,604,488.07
2012	1,029,028,187.88	2019	1,351,973,467.18	2026	1,760,708,147.72
2013	1,070,446,506.85	2020	1,404,808,845.78	2027	1,826,817,767.48
2014	1,113,347,891.32	2021	1,459,440,024.25	2028	1,894,975,902.18
2015	1,157,796,512.66	2022	1,515,907,911.70	2029	1,965,227,262.88
2016	1,203,844,177.13	2023	1,574,240,256.16	2030	2,037,606,475.87

### 7.4.2 Escenario 2

Corresponde al escenario con cambio climático, la temperatura es la única variable climática considerada ya que para el caso específico de la CESPМ la disminución de la precipitación no representa un factor que incremente su nivel de susceptibilidad; semejante al escenario base los niveles de desempeño permanecen constantes y no hay incremento de las tarifas.

VARIABLE	INCREMENTO
<b>Temperatura</b>	2.9°C respecto a la climatología base
<b>Población</b>	2.7% anual
<b>PIB</b>	3.5% anual
<b>Tarifa</b>	3% anual
<b>Eficiencia física</b>	0

A diferencia del escenario base el índice de vulnerabilidad se incrementa en promedio 8 puntos; la tendencia creciente de la vulnerabilidad al igual que las caídas se explican como consecuencia del incremento de la temperatura que si bien varía anualmente, tiende a incrementar durante el periodo proyectado.

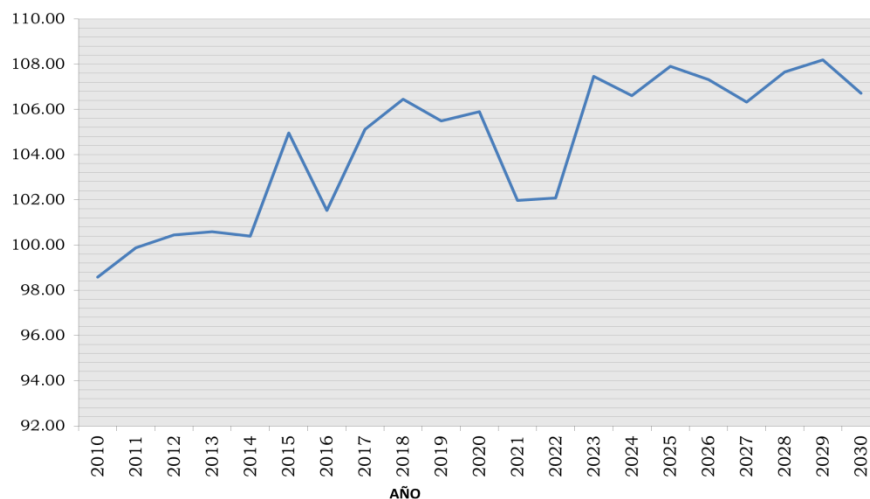


Figura 20. Índice de vulnerabilidad. Escenario 2

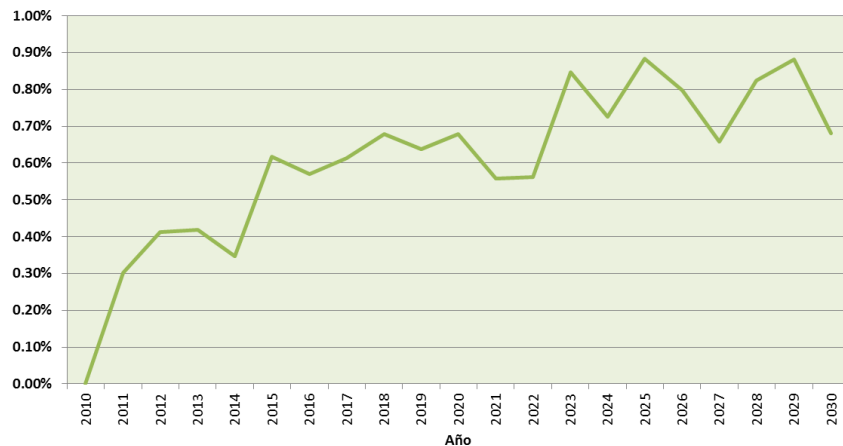
Al igual que el escenario base, el consumo y la disponibilidad se ven afectados por el crecimiento de la población sin embargo, el grado de exposición, dado por las variaciones de temperatura reflejan el peso de dicha variable en el cálculo del índice que por si sola vuelve más susceptible al organismo operador.

**Tabla 25. Indicadores de vulnerabilidad. Escenario 2**

AÑO	INCREMENTO DE TEMPERATURA	CONSUMO (l/h/d)	GRADO DE CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD	GRADO DE PRESIÓN (%)	EFICIENCIA ECONÓMICA	EFICIENCIA FÍSICA	EFICIENCIA COMERCIAL
2010	0.000	188.51	0.045	0.400	73%	0.48	0.874	0.787
2011	0.516	188.89	0.046	0.408	73%	0.48	0.874	0.787
2012	0.702	188.71	0.046	0.415	73%	0.49	0.874	0.787
2013	0.709	188.24	0.046	0.422	73%	0.49	0.874	0.787
2014	0.586	187.55	0.045	0.427	73%	0.49	0.874	0.787
2015	1.043	187.81	0.046	0.435	73%	0.49	0.874	0.787
2016	0.959	187.20	0.045	0.441	73%	0.50	0.874	0.787
2017	1.028	186.83	0.046	0.447	73%	0.50	0.874	0.787
2018	1.137	186.52	0.046	0.454	73%	0.50	0.874	0.787
2019	1.061	185.92	0.045	0.459	73%	0.50	0.874	0.787
2020	1.126	185.55	0.045	0.466	73%	0.50	0.874	0.787
2021	0.919	184.75	0.045	0.471	73%	0.51	0.874	0.787
2022	0.923	184.28	0.045	0.476	73%	0.51	0.874	0.787
2023	1.397	184.55	0.046	0.484	73%	0.51	0.874	0.787
2024	1.189	183.75	0.045	0.489	73%	0.51	0.874	0.787
2025	1.447	183.68	0.046	0.495	73%	0.51	0.874	0.787
2026	1.298	182.98	0.045	0.500	73%	0.52	0.874	0.787
2027	1.065	182.15	0.045	0.504	73%	0.52	0.874	0.787
2028	1.334	182.10	0.045	0.510	73%	0.52	0.874	0.787
2029	1.428	181.77	0.045	0.516	73%	0.52	0.874	0.787
2030	1.093	180.80	0.045	0.519	73%	0.52	0.874	0.787

Dicho incremento de temperatura provoca un ligero incremento en el consumo respecto al escenario base, lo que implica que los costos totales de producción aumenten. Si bien los indicadores de desempeño permanecen constantes, al incrementarse la demanda (ya sea únicamente por el crecimiento de la población o considerando el cambio climático) el organismo operador se ve obligado a incrementar el volumen producido y cobrado en la misma proporción que la demanda.

Esta diferencia entre los costos de producción totales depende fuertemente de los cambios de temperatura y tiende a incrementar con el tiempo como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 21. Incremento de costos respecto al escenario base**

Este incremento de costos representa el impacto económico del cambio climático en el proceso de producción, distribución y suministro de agua potable el cual asciende a cerca de 194 millones de pesos, un 20% de los costos totales correspondientes al año 2010.

**Tabla 26. Costos totales. Escenario 2**

<b>AÑO</b>	<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>COSTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>
<b>2010</b>	950,459,203.26	0.00
<b>2011</b>	992,038,276.40	2,987,472.23
<b>2012</b>	1,033,262,197.00	4,234,009.12
<b>2013</b>	1,074,917,578.52	4,471,071.67
<b>2014</b>	1,117,215,554.34	3,867,663.03
<b>2015</b>	1,164,933,953.16	7,137,440.50
<b>2016</b>	1,210,708,918.73	6,864,741.60
<b>2017</b>	1,259,204,697.26	7,669,153.89
<b>2018</b>	1,309,737,907.04	8,838,319.71
<b>2019</b>	1,360,593,958.04	8,620,490.86
<b>2020</b>	1,414,341,687.41	9,532,841.63
<b>2021</b>	1,467,588,109.28	8,148,085.03
<b>2022</b>	1,524,434,118.56	8,526,206.86
<b>2023</b>	1,587,574,962.04	13,334,705.88
<b>2024</b>	1,646,337,346.87	11,875,029.93
<b>2025</b>	1,711,578,236.92	14,973,748.85
<b>2026</b>	1,774,737,938.96	14,029,791.25
<b>2027</b>	1,838,847,711.23	12,029,943.75
<b>2028</b>	1,910,575,853.40	15,599,951.22
<b>2029</b>	1,982,556,240.86	17,328,977.98
<b>2030</b>	2,051,481,248.81	13,874,772.94
<b>Total</b>	<b>30,383,125,698.11</b>	<b>193,944,417.95</b>

### 7.4.3 Escenario 3

De acuerdo a los resultados obtenidos en el índice de vulnerabilidad generado en la primera parte de la metodología, la eficiencia económica representa uno de los indicadores con mayor incidencia en el índice de vulnerabilidad actual ya que representa cerca de un 35% del índice.

Considerando un escenario de cambio climático este indicador podría verse incrementado tomando en cuenta por un lado el crecimiento de la población que demanda una mayor cantidad de agua y que como muestran los escenarios anteriores afecta de manera directa los costos de operación, o bien, mantener los niveles de eficiencia actuales implica aumentar la capacidad económica del organismo operador.

Así el escenario 3 responde a una política de precios la cual busca disminuir la demanda de agua potable de los consumidores y aumentar la recaudación del organismo operador.

VARIABLE	INCREMENTO
<b>Temperatura</b>	2.9°C respecto a la climatología base
<b>Población</b>	2.7% anual
<b>PIB</b>	3.5% anual
<b>Tarifa</b>	Igual a los costos de producción
<b>Eficiencia física</b>	0

De acuerdo a dicha política de precios, el incremento de la tarifas reduce el índice de vulnerabilidad en cerca de 9 puntos tomando como referencia el valor al 2010.

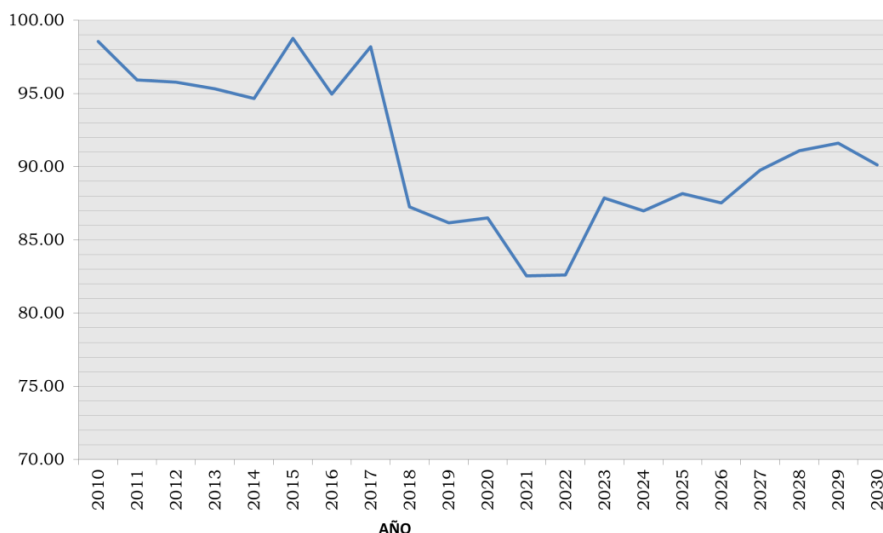


Figura 22. Índice de vulnerabilidad. Escenario 3

La mayor caída se presenta en el 2018, año en el que se plantea igualar la tarifa a los costos de producción. La tendencia después de este año es similar al escenario 2 que refleja únicamente los efectos de la temperatura.

El segundo efecto del incremento de la tarifa se refleja en la demanda la cual se reduce un 24% al 2030 comparado con el escenario 2 en el que hay una reducción del 4%.

**Tabla 27. Indicadores de vulnerabilidad. Escenario 3**

AÑO	INCREMENTO DE TEMPERATURA	CONSUMO (l/h/d)	GRADO DE CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD	GRADO DE PRESIÓN (%)	EFICIENCIA ECONÓMICA	EFICIENCIA FÍSICA	EFICIENCIA COMERCIAL
2010	0.000	188.51	0.045	0.400	73%	0.48	0.874	0.787
2011	0.516	179.66	0.043	0.388	73%	0.56	0.874	0.787
2012	0.702	172.40	0.044	0.379	73%	0.64	0.874	0.787
2013	0.709	166.34	0.044	0.373	73%	0.71	0.874	0.787
2014	0.586	161.15	0.044	0.367	73%	0.78	0.874	0.787
2015	1.043	157.56	0.044	0.365	73%	0.84	0.874	0.787
2016	0.959	153.82	0.044	0.362	73%	0.90	0.874	0.787
2017	1.028	150.77	0.045	0.361	73%	0.96	0.874	0.787
2018	1.137	148.17	0.045	0.360	73%	1.01	0.874	0.787
2019	1.061	147.69	0.045	0.365	73%	1.01	0.874	0.787
2020	1.126	147.39	0.045	0.370	73%	1.02	0.874	0.787
2021	0.919	146.76	0.045	0.374	73%	1.02	0.874	0.787
2022	0.923	146.38	0.045	0.378	73%	1.03	0.874	0.787
2023	1.397	146.60	0.045	0.385	73%	1.03	0.874	0.787
2024	1.189	145.97	0.045	0.388	73%	1.04	0.874	0.787
2025	1.447	145.91	0.045	0.393	73%	1.04	0.874	0.787
2026	1.298	145.35	0.045	0.397	73%	1.04	0.874	0.787
2027	1.065	144.69	0.045	0.401	73%	1.05	0.874	0.787
2028	1.334	144.65	0.045	0.406	73%	1.05	0.874	0.787
2029	1.428	144.40	0.045	0.410	73%	1.06	0.874	0.787
2030	1.093	143.62	0.045	0.412	73%	1.06	0.874	0.787

Así, considerando que el volumen consumido se reduce y por lo tanto los costos de producción, las diferencias entre los costos de este escenario y los costos del escenario de 2 (con cambio climático) resultan negativos, es decir, generan ahorros.

Este incremento en las tarifas debe tener, sin embargo, un costo social que no está calculado en este trabajo y que podría medirse como la pérdida en bienestar medido por la caída en el excedente del consumidor.

**Tabla 28. Costos totales (pesos). Escenario 3**

<b>AÑO</b>	<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>COSTOS DE ADAPTACIÓN</b>
<b>2010</b>	950,459,203.26	0.00
<b>2011</b>	960,028,021.44	-32,010,254.96
<b>2012</b>	973,953,467.13	-59,308,729.87
<b>2013</b>	991,441,265.42	-83,476,313.10
<b>2014</b>	1,011,755,202.98	-105,460,351.37
<b>2015</b>	1,038,318,823.37	-126,615,129.79
<b>2016</b>	1,064,450,679.82	-146,258,238.91
<b>2017</b>	1,093,802,099.86	-165,402,597.40
<b>2018</b>	1,125,577,269.65	-184,160,637.39
<b>2019</b>	1,168,530,556.94	-192,063,401.10
<b>2020</b>	1,213,857,543.01	-200,484,144.40
<b>2021</b>	1,258,865,257.94	-208,722,851.34
<b>2022</b>	1,306,813,677.89	-217,620,440.67
<b>2023</b>	1,359,846,252.34	-227,728,709.71
<b>2024</b>	1,409,487,002.97	-236,850,343.90
<b>2025</b>	1,464,362,910.81	-247,215,326.11
<b>2026</b>	1,517,677,120.30	-257,060,818.67
<b>2027</b>	1,571,840,302.83	-267,007,408.40
<b>2028</b>	1,632,152,350.88	-278,423,502.52
<b>2029</b>	1,692,764,785.29	-289,791,455.57
<b>2030</b>	1,751,053,144.81	-300,428,104.00
<b>Total</b>	<b>26,557,036,938.94</b>	<b>-3,826,088,759.17</b>

Dichos ahorros permitirá generar excedentes de ingresos disponibles para invertirse en mejoras a la operación e infraestructura que ante fenómenos como el cambio climático incrementarían la capacidad de adaptación del organismo operador,



#### 7.4.4 Escenario 4

Si bien los niveles de desempeño de la CESPМ son buenos, un incremento permitiría hacer más eficiente la distribución y suministro de agua potable, sin embargo el mantenimiento de la red no se podría hacer financieramente sostenibles si las tarifas siguen siendo inferiores a los costos de producción.

Así, el escenario 4 corresponde a un incremento en las tarifas y la eficiencia física ya que tomando en cuenta los resultados obtenidos en el escenario 3, el incremento de las tarifas tiene un impacto importante en la reducción de la demanda además de generar ahorros importantes que permitirán invertir en el mantenimiento de la red de agua potable y reducir los niveles de agua no contabilizada.

VARIABLE	INCREMENTO
<b>Temperatura</b>	2.9°C respecto a la climatología base
<b>Población</b>	2.7% anual
<b>PIB</b>	3.5% anual
<b>Tarifa</b>	Igual a los costos de producción
<b>Eficiencia física</b>	

Bajo este escenario el índice de vulnerabilidad es ligeramente menor al escenario 3, sin embargo dicha diferencia tiende a incrementar con el tiempo dado que el incremento en la eficiencia física favorece aun más la capacidad de adaptación del organismo operador.

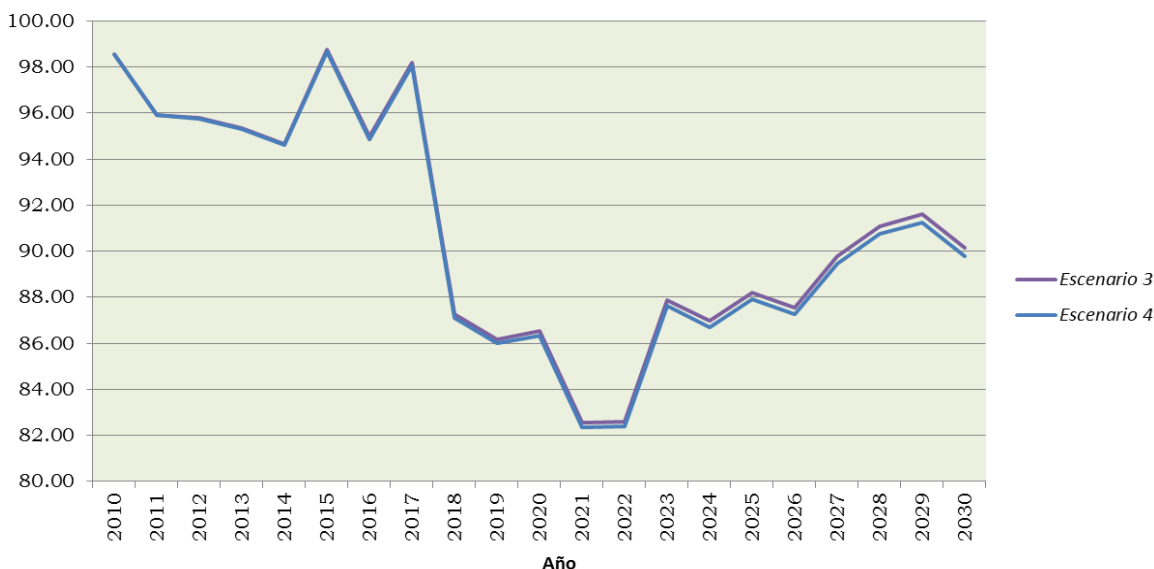


Figura 23. Índice de vulnerabilidad. Escenario 4

**Tabla 29. Indicadores de vulnerabilidad. Escenario 4**

AÑO	INCREMENTO DE TEMPERATURA	CONSUMO (l/h/d)	GRADO DE CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD	GRADO DE PRESIÓN (%)	EFICIENCIA ECONÓMICA	EFICIENCIA FÍSICA	EFICIENCIA COMERCIAL
2010	0.000	188.51	0.045	0.400	73%	0.48	0.874	0.787
2011	0.516	179.66	0.043	0.388	73%	0.56	0.875	0.787
2012	0.702	172.40	0.044	0.379	73%	0.64	0.876	0.787
2013	0.709	166.34	0.044	0.373	73%	0.71	0.878	0.787
2014	0.586	161.15	0.044	0.367	73%	0.78	0.879	0.787
2015	1.043	157.56	0.044	0.365	73%	0.84	0.880	0.787
2016	0.959	153.82	0.044	0.362	73%	0.90	0.882	0.787
2017	1.028	150.77	0.044	0.361	73%	0.95	0.883	0.787
2018	1.137	148.17	0.045	0.360	73%	1.00	0.884	0.787
2019	1.061	147.69	0.045	0.365	73%	1.00	0.886	0.787
2020	1.126	147.39	0.045	0.370	73%	1.01	0.887	0.787
2021	0.919	146.76	0.045	0.374	73%	1.01	0.888	0.787
2022	0.923	146.38	0.045	0.378	73%	1.01	0.890	0.787
2023	1.397	146.60	0.045	0.385	73%	1.02	0.891	0.787
2024	1.189	145.97	0.045	0.388	73%	1.02	0.892	0.787
2025	1.447	145.91	0.045	0.393	73%	1.03	0.893	0.787
2026	1.298	145.35	0.045	0.397	73%	1.03	0.895	0.787
2027	1.065	144.69	0.045	0.401	73%	1.03	0.896	0.787
2028	1.334	144.65	0.045	0.406	73%	1.03	0.897	0.787
2029	1.428	144.40	0.045	0.410	73%	1.04	0.899	0.787
2030	1.093	143.62	0.045	0.412	73%	1.04	0.900	0.787

Considerando que reducir los niveles de agua no contabilizada también implica un incremento de los costos de producción, el indicador de eficiencia económica resulta ligeramente menor al escenario 3 ya que si bien, se produce un menor volumen de agua, es necesario realizar inversiones que permitan reducir las pérdidas de agua en la red.

**Tabla 30. Ahorro de agua y costo por reparación de fugas**

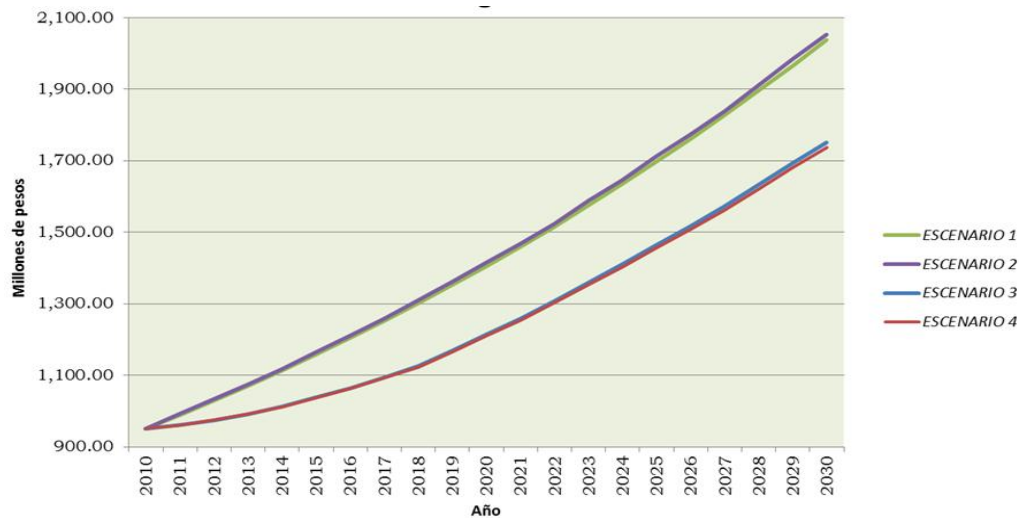
AÑO	VOLUMEN PRODUCIDO (M <sup>3</sup> )	VOLUMEN PRODUCIDO CON REPARACIÓN DE FUGAS (M <sup>3</sup> )	AHORRO DE AGUA POR REPARACIÓN (M <sup>3</sup> )	COSTO POR REPARACIÓN DE FUGAS (\$)
2010	80,156,225.71	80,156,225.71	0.00	0.00
2011	77,675,550.64	77,559,601.40	115,949.24	1,361,475.93
2012	75,762,600.67	75,649,675.54	112,925.14	1,365,745.95
2013	74,275,911.43	74,165,367.00	110,544.44	1,377,061.77
2014	73,094,915.05	72,986,289.95	108,625.10	1,393,747.00
2015	72,569,388.87	72,461,704.77	107,684.10	1,423,123.37
2016	71,926,442.06	71,819,870.16	106,571.90	1,450,677.67
2017	71,552,921.67	71,447,060.06	105,861.61	1,484,239.33
2018	71,343,032.12	71,237,636.96	105,395.15	1,522,030.28
2019	72,130,847.32	72,024,445.51	106,401.81	1,582,664.57
2020	72,992,638.08	72,885,123.62	107,514.46	1,647,191.01
2021	73,670,323.99	73,561,970.93	108,353.06	1,709,840.05
2022	74,464,067.94	74,354,708.30	109,359.64	1,777,495.89
2023	75,542,314.41	75,431,533.93	110,780.48	1,854,607.50
2024	76,168,057.99	76,056,523.44	111,534.55	1,923,248.58
2025	77,072,872.97	76,960,178.50	112,694.47	2,001,547.16
2026	77,694,498.02	77,581,060.49	113,437.53	2,075,186.90
2027	78,236,036.05	78,121,974.38	114,061.67	2,149,202.75
2028	79,089,620.23	78,974,481.97	115,138.26	2,234,573.06
2029	79,805,011.64	79,689,000.81	116,010.84	2,319,053.00
2030	80,207,883.26	80,091,456.02	116,427.23	2,397,198.09
<b>TOTAL</b>	<b>1,585,431,160.11994</b>	<b>1,583,215,889.45</b>	<b>2,215,270.67</b>	<b>35,049,909.87</b>

La tabla 30 muestra el costo que implica reducir el agua no contabilizada y el impacto en el volumen producido tras realizar mejoras en la redes de agua. En este escenario los costos totales incluyen las inversiones realizadas por reparación de fugas sin embargo, es posible observar que aun con dicho incremento de costos los ahorros resultan mayores que únicamente implementar una política de precios.

**Tabla 31. Costos totales (pesos). Escenario 4**

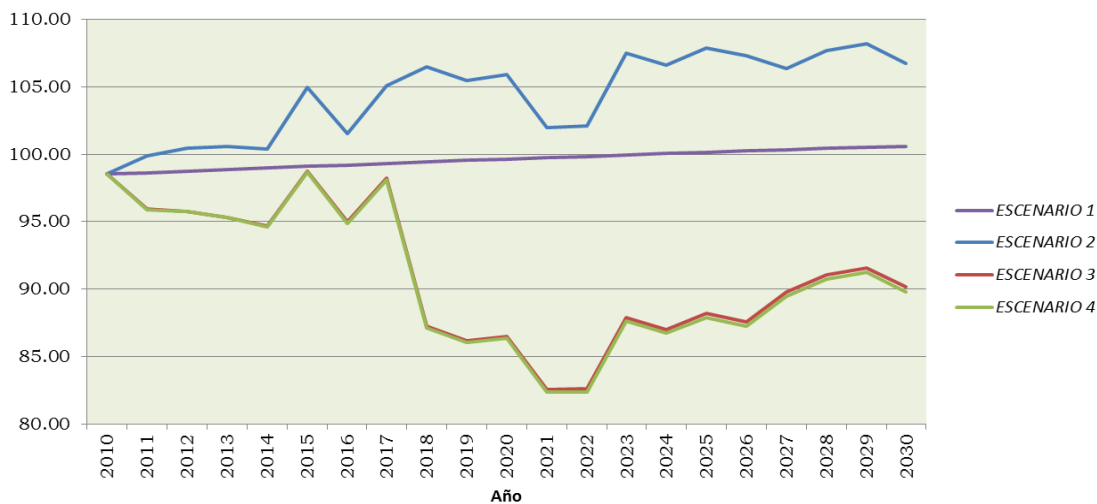
AÑO	COSTOS TOTALES	COSTOS DE ADAPTACIÓN
2010	950,459,203.26	0.00
2011	959,169,889.50	-31,506,910.97
2012	972,660,624.72	-59,235,826.32
2013	989,700,816.08	-83,839,700.67
2014	1,009,550,164.28	-106,271,643.07
2015	1,035,613,119.60	-127,897,710.18
2016	1,061,228,239.90	-148,030,001.16
2017	1,090,028,619.24	-167,691,838.68
2018	1,121,217,656.33	-186,998,220.42
2019	1,163,486,199.28	-195,525,094.20
2020	1,208,074,068.38	-204,620,428.01
2021	1,252,306,461.52	-213,571,807.71
2022	1,299,416,357.54	-223,240,265.13
2023	1,351,522,153.58	-234,198,200.97
2024	1,400,224,718.76	-244,189,379.54
2025	1,454,065,905.51	-255,510,784.25
2026	1,506,317,485.93	-266,345,266.14
2027	1,559,365,303.43	-277,333,205.06
2028	1,618,441,306.81	-289,899,973.53
2029	1,677,764,689.60	-302,472,498.25
2030	1,734,748,670.09	-314,335,380.64
<b>Total</b>	<b>26,415,361,653.34</b>	<b>-3,932,714,134.90</b>

Los costos totales en cada escenario se observan en la siguiente figura, el escenario 4 que incluye un incremento de las tarifas y la eficiencia física genera los mayores beneficios ya que los costos generales resultan menores incluso que el escenario sin cambio climático ya que además de reducir la demanda por el incremento de las tarifas, el volumen a producir resulta menor debido a la reducción del agua no contabilizada.



**Figura 24. Costos totales**

El índice de vulnerabilidad presenta una tendencia creciente en todos los escenarios dada por el incremento de la temperatura y en el caso base por el crecimiento de población.



**Figura 25. Índice de vulnerabilidad**

La tarifa juega un papel importante tanto en el cálculo del índice como en los costos de adaptación, ya que planteando un escenario en el que únicamente se incrementen los niveles de eficiencia física los efectos resultan menores, sin embargo, realizar mejoras físicas si no existe capacidad económica en el organismo operador resultaría en efectos adversos.

## 8. CONCLUSIONES Y NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Se han realizado algunos estudios sobre costos de adaptación a nivel global, sin embargo es evidente la falta de trabajos que aborden el tema desde una perspectiva sectorial.

En este trabajo se describe la propuesta metodológica que tiene como objetivo calcular los costos de adaptación al cambio climático para un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. La principal aportación de este trabajo es relacionar el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático con la vulnerabilidad ya que, si bien la adaptación tiene un costo, los factores de sensibilidad y capacidad de adaptación considerados en el análisis de sensibilidad son los que determinan la magnitud de los efectos que un mismo fenómeno climático pueda causar, por lo cual resulta fundamental conocer los factores que vuelven susceptible a un organismo operador a fin de moderar los daños potenciales y enfrentar las consecuencias de este.

Para realizar los cálculos que se han mostrado en este trabajo, fue necesario definir la reacción que podría tener un planificador encargado de manejar el organismo operador de agua potable. A estas posibles formas de reacción se les denominó escenarios.

Como es obvio, la opción de no reaccionar ante el cambio climático es la opción más costosa y que mayor incremento en la vulnerabilidad produce, sin embargo, para el caso específico de Mexicali, los costos de cero actividad no son significativos.

Sorpresivamente, los escenarios donde el planificador actúa con alguna medida de política, específicamente con una política de precios activan, se logran ahorros en los costos de operación y mantenimiento; y simultáneamente se logra una disminución sostenida del índice de vulnerabilidad para el organismo operador.

Cabe señalar que no se incluyeron cálculos en la pérdida de bienestar que se producirían al aumentar las tarifas de agua potable.

Se mostró que es posible desarrollar una metodología para el cálculo de los costos de adaptación para el cambio climático en un organismo operador siempre y

cuando exista la información de costos unitarios de producción en el organismo operador.

En el caso de Mexicali es un caso especial debido a que cuenta con el suministro de agua potable asegurado como consecuencia del convenio que los gobiernos de México y de Estados Unidos para transferir agua de la cuenca del río Colorado. Además Mexicali cuenta con niveles de eficiencia muy altos, estos dos elementos juntos producen una situación de poca vulnerabilidad en el organismo. Esto explica los bajos costos de adaptación al cambio climático que se han encontrado para el caso de Mexicali.

La función de costos se construyó asumiendo que los agentes tienen un comportamiento pasivo, es decir, que no modifican su canasta de insumos para buscar una óptima en cada periodo de tiempo, este supuesto debería ser modificado conforme se cuente con mayor información sobre las posibilidades del cambio técnico ante el cambio climático.

Finalmente, la política de precios por si sola, si las condiciones de suministro actuales se mantienen, puede servir para por un lado, disminuir la vulnerabilidad del organismo operador y por otro, reducir los costos de adaptación al cambio climático

En este ejercicio solo se hicieron cálculos con los parámetros relacionados con la eficiencia física por la situación específica del municipio de Mexicali, sin embargo en otros casos podría ser distinto y por tanto ser necesario realizar cálculos sobre otras variables, lo que implicaría contar con información de los costos unitarios sobre las otras variables.

Sin bien los efectos del cambio climático implican retos para todos los organismos operadores de agua del país y estos deberán incluir medidas destinadas a aumentar su capacidad de respuesta ante dichos cambios, cada organismo operador adoptara diferentes medidas de acuerdo a su ubicación geográfica, su infraestructura física y recursos económicos, sin embargo resulta necesario antes de incrementar la oferta contar con herramientas de gestión que definan los lineamientos para el manejo integral del agua.

## Bibliografía

- Baird, C. (2001). *Química Ambiental. Segunda Edición*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Callaway, J. M., Louw, D. B., Jabavu, C. N., Hellmuth, M. E., & Sparks, D. A. (2007). *The Berg River Dynamic Spatial Equilibrium Model: A new tool for assessing the benefits and costs of alternatives for coping with water demand growth, climate variability, and climate change in the Western Cape*. Washington, DC: AIACC Working Papers.
- Comisión Intersecretarial sobre Cambio Climático. (2006). *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: INE-SEMARNAT.
- CONAGUA. (2010). *Servicio Meteorológico Nacional*. Recuperado el octubre de 2012, de [smn.conagua.gob.mx](http://smn.conagua.gob.mx)
- CONAGUA. (2010). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2010*. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del Agua en México, edición 2011*. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2011). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2011*. México: SEMARNAT.
- Cromwell, J. E., Smith, J. B., & Raucher, R. S. (2007). *Implications of Climate Change for Urban Water Utilities*. Washington, D.C.: Association of Metropolitan Water Agencies.
- Danilenko, A., Dickson, E., & Jacobsen, M. (2010). *Climate Change and Urban Water Utilities: Challenges & Opportunities*. España: Water Sector Board of the Sustainable Development Network of the World Bank Group.
- Dessai, S., & Hulme, M. (2004). *Does climate adaptation policy need probabilities?. Review*. Norwich, UK: School of Environmental Sciences, University of East Anglia.
- EPA. (2010). *Adaptation Strategies Guide for Water Utilities*. United States: Environmental Protection Agency.
- EPA. (2010). *Climate Change Vulnerability Assessments: A Review of Water Utility Practices*. Washington: United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2011). *Climate Change Vulnerability Assessment: Four Case Studies of Water Utility Practices*. Washington: United States Environmental Protection Agency.
- Frankhauser, S. (1998). *The Costs of Adapting to Climate Change*. Washington, DC: Global Environment Facility.
- Galindo, L. M. (2009). *La Economía del Cambio Climático en México. Síntesis*. México: SHCP, SEMARNAT.
- Galton, F. (1886). *Family Likeness in Stature. Proceedings of royal society. Vol. 40*. Londres.
- Greenpeace. (2010). *México ante el cambio climático*. México DF: Greenpeace.
- Gujarati, D. (2003). *Econometría*. México: McGraw-Hill.

- Hernández Cerda, M. E., Torres Tapia, A. L., & Valdez Madero, G. (2000). Sequía Meteorológica. En C. Gay García, *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México* (págs. 28-37). México: INE, UNAM, US Country Studies Program.
- IMTA. (2009). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores*. Recuperado el 25 de Junio de 2012, de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: <http://www.pigoo.gob.mx>
- INE. (2002). *Cambio global y recursos hídricos en México: Hidropolítica y conflictos contemporáneos por el agua*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- INE, Universidad Iberoamericana. (2007). *Estudio sobre la economía del cambio climático en México*. México: INE.
- INEGI. (2004). *Panorama Censal de los Organismos Operadores de Agua en México: Censos Económicos 2004*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INE-IMTA-SEMARNAT. (2008). *Evaluación de la afectación de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos por efecto de la variabilidad y el cambio climático y su impacto en la biodiversidad, agricultura, salud, turismo e industria*. México: INE-IMTA-SEMARNAT.
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del grupo de Trabajo II al Tercer Informe de Evaluación*. Ginebra.
- IPCC. (2007). *Cambio Climático 2007, Informe de síntesis, Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC*. Ginebra, Suiza.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: La base científica. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación. Panel de Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC. (2008). *El cambio climático y el agua. Documento Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra.
- Kirshen, P. (2007). *Adaptation Options and Cost in Water Supply*. United States: Tufts University.
- Kirshen, P., McCluskey, M., Vogel, R., & Strzepek, K. (2005). Global analysis of changes in water supply yields and costs under climate change: A case study in China. *Climate Change*, 303-330.
- Kirshen, P., Ruth, M., & Anderson, W. (2000). Climate's Long-term Impacts on Urban Infrastructures and Services: The Case of Metro Boston. En R. M. Kirshen, K. Donaghy, & H. P., *Responses, Climate Change and Variability: Consequences and* (págs. 191-255).
- Landa, R., Ávila, B., & Hernández, M. (2010). *Cambio Climático y Desarrollo Sustentable para América Latina y el Caribe. Conocer para Comunicar*. México D.F: British Council. PNUD México, Cátedra UNESCO-IMTA, FLACSO México.
- Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). *Agua y Clima: Elementos para la Adaptación al Cambio Climático*. México: SEMARNAT, CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM.
- Loftus, A. C. (2011). *Adapting Urban Water Systems to Climate Change. A handbook for decision makers at the local level*. Germany: ICLEI European Secretariat.
- Lu, X. X. (2004). *Vulnerability of water discharge of large Chinese rivers to environmental changes: an overview*. Singapore: National University of Singapore.



- Maderey R., L. E., & Jiménez R., A. (2000). Los Recursos Hidrológicos del Centro de México ante un Cambio Climático Global. En C. Gay García, *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México* (págs. 39-53). México: INE, UNAM, US Country Studies Program.
- Magaña, R. V. (2004). El cambio climático global: comprender el problema. En J. Martínez, & A. Fernández, *Cambio climático: una visión desde México* (págs. 17-27). México: INE-SEMARNAT.
- Magaña, V., Graizbord, B., & Buenfil Friedman, J. (2010). Escenarios de cambio climático. En J. Buenfil Friedman, *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México* (págs. 571-655). México: INE.
- Martínez Austria, P. F., & Patiño Gómez, C. (2010). *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Martínez, P. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. México DF: INE.
- Metroeconomica. (2004). *Costing the impacts of climate change in the UK*. Reino Unido: UKCIP.
- Montero Martínez, M. J., Martínez Jiménez, J., Castillo Pérez, N. I., & Espinosa Tamarindo, B. E. (2010). Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima. En P. F. Martínez Austria, & C. Patiño Gómez, *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático* (págs. 39-63). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Montero Martínez, M. J., Martínez Jiménez, J., Castillo Pérez, N. I., & Espinosa Tamarindo, B. E. (2010). Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima. En P. F. Martínez Austria, & C. Patiño Gómez, *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático* (págs. 39-63). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- NACWA-AWWA. (2009). *Confronting Climate Change: An Early Analysis of Water and Wastewater Adaptation Costs*. NACWA-AWWA.
- Naro, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2005). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Ortiz Pérez, M. A., & Méndez Linares, A. P. (2000). Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. En C. Gay García, *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México* (págs. 73-85). México: INE, UNAM, US Country Studies Program.
- Oxfam. (2007). *Adapting to Climate Change. What is Needed in Poor Countries and Who Should Pay? Oxfam Briefing Paper 104*.
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Frankhauser, S., Hope, C., y otros. (2009). *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*. London: International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change.
- Pearson, K., & Lee, A. (1903). *On the Laws of Inheritance. Biometrika. Vol 2*.
- R., P., & Rubinfeld, D. (2001). *Econometría, modelos y pronósticos*. México: Cuarta edición, McGraw-Hill.

- Rivas, I., Güitron de los Reyes, A., & Ballinas, H. (2010). Vulnerabilidad Hídrica Global: Aguas Superficiales. En P. F. Martínez Austria, & C. Patiño Gómez, *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático* (págs. 81-113). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Salazar Adams, A., & Pineda Pablos, N. (2010). Factores que afectan la demanda de agua para uso doméstico en México. *Región y Sociedad, XXII*(49).
- SEMARNAT. (2005). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. México: SEMARNAT.
- Soto Montes de Oca, G., & Herrera Pantoja, M. (2009). *Estudio sobre el impacto del cambio climático en el servicio de abasto de agua de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. México: Centro Virtual de cambio climático ciudad de México, Universidad Iberoamericana, University of East of Anglia.
- Stern, N. (2006). *Stern Review: La economía del cambio climático*. UK: Cabinet Office - HM Treasury.
- Sullivan, C. A., & Meigh, J. (2005). Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Science & Technology, 69-78*.
- UNDP. (2007). *Human Development Report 2007/08*. New York: Palgrave MacMillan.
- UNEP, PKU. (2008). *Methodological Guidelines for Vulnerability Assessment of Freshwater Resources*. Thailand: United Nations Environment Programme.
- UNFCCC. (2007). *Investment and Financial Flows to Address Climate Change*. Bonn: Climate Change Secretariat.
- UNFCCC. (2007). *Manual sobre Evaluaciones de Vulnerabilidad y Adaptación*. Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Vergara, W., Deeb, A. M., Valencia, A. M., Bradley, R. S., Francou, B., Zarzar, A., y otros. (2007). Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes. *EOS, Transactions, American Geophysical Union, 261-268*.
- Vorosmarty, C. I., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. (2000). *Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth*. Science.
- Watkiss, P. (2011). *Aggregate Economic Measures of Climate Change Damages: Explaining the Differences and Implications*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change.
- World Bank. (2006). *An Investment Framework for Clean Energy and Development*. Washington DC: World Bank.
- World Bank. (2008). *The Economic of Adaptation to Climate Change. Informe Metodológico*. World Bank.
- WUCA. (2010). *Decision support planning methods: incorporating climate change uncertainties into water planning*. Denver, Arizona: WUCA.

## ANEXO TÉCNICO

### Estadísticos obtenidos de la regresión

La estadística descriptiva de las variables utilizadas en el modelo se describe a continuación, presentándose también la distribución de la variable dependiente (cantidad de agua consumida) en dos versiones; el consumo anual y el logaritmo del consumo.

Estadística Descriptiva de las variables del modelo Demanda de Agua Mexicali, Baja California.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables del modelo de demanda

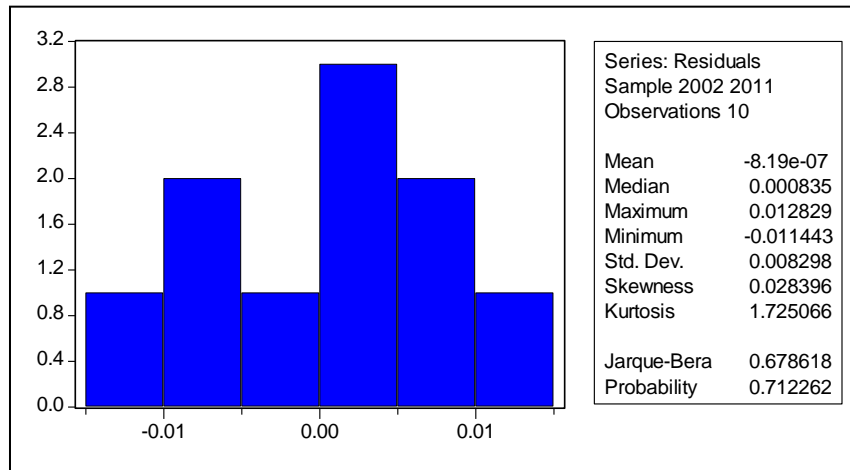
ESTADÍSTICO	LPRE_PROM	LQ_CON	LPIB	LPREC_PROM	LTEMP_PROM
<b>Media</b>	2.220979	4.645696	24.92884	4.652609	3.052605
<b>Mediana</b>	2.251496	4.653937	24.94217	4.763344	3.092655
<b>Máximo</b>	2.394879	4.809339	25.01803	5.879135	3.132577
<b>Mínimo</b>	1.901904	4.510568	24.83435	2.846845	2.939162
<b>Desviación estándar</b>	0.159107	0.100952	0.063760	0.979300	0.075373
<b>Simetría</b>	-0.752000	0.149515	-0.343089	-0.731439	-0.374726
<b>Kurtosis</b>	2.601819	2.017941	1.841091	2.449121	1.393506
<b>Jarque-Bera</b>	1.008567	0.439108	0.755795	1.018116	1.309376
<b>Probabilidad JB</b>	0.603938	0.802877	0.685301	0.601061	0.519604
<b>Observaciones</b>	10	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia con información del IMTA

A continuación se muestran los resultados de las pruebas antes mencionadas que indican que el modelo estimado es aceptado.

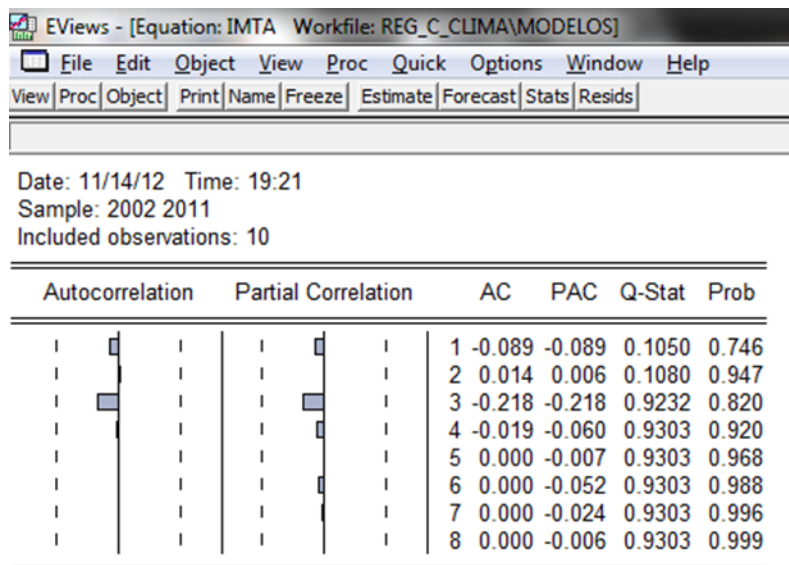
### **Prueba de Normalidad**

La normalidad se demuestra gráficamente y con la prueba Jarque-Bera la cual es de 0.67 con una probabilidad de 0.71.



### **Autocorrelación**

Se tomaron en cuenta 3 distintas pruebas para demostrar no autocorrelación en el modelo, la primera consta del estadístico Durbin-Watson el cual se encuentra en 2.14, la prueba del correlograma y la de LM test con una probabilidad de F de 0.90 y 0.77 (para dos y un rezago respectivamente).



**Prueba de correlación LM con 2 rezagos**

<b>Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:</b>				
F-statistic	0.097432	Probability	0.909252	
Obs*R-squared	0.464528	Probability	0.792737	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID				
Method: Least Squares				
Date: 11/14/12 Time: 19:24				
Presample missing value lagged residuals set to zero.				
<b>Variable</b>	<b>Coefficient</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t-Statistic</b>	<b>Prob.</b>
LTAR	0.001667	0.022046	0.075608	0.9434
LPIB	0.000182	0.012948	0.014051	0.9895
LTEMP_IMTA	-0.002157	0.099528	-0.021675	0.9837
DUMMY09	-0.000921	0.018716	-0.049219	0.9631
RESID(-1)	-0.128435	0.535614	-0.239789	0.8223
RESID(-2)	-0.221995	0.632698	-0.350870	0.7434
R-squared	0.046453	Mean dependent var	-8.19E-07	
Adjusted R-squared	-1.145481	S.D. dependent var	0.008298	
S.E. of regression	0.012155	Akaike info criterion	-5.698478	
Sum squared resid	0.000591	Schwarz criterion	-5.516927	
Log likelihood	34.49239	Durbin-Watson stat	1.989101	

**Prueba de correlación LM con 1 rezago**

<b>Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:</b>				
F-statistic	0.087013	Probability	0.779865	
Obs*R-squared	0.171050	Probability	0.679180	
<p>Test Equation:            Dependent Variable: RESID            Method: Least Squares            Date: 11/14/12 Time: 19:25            Presample missing value lagged residuals set to zero.</p>				
<b>Variable</b>	<b>Coefficient</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t-Statistic</b>	<b>Prob.</b>
LTAR	-0.000274	0.019379	-0.014152	0.9893
LPIB	-0.000395	0.011663	-0.033827	0.9743
LTEMP_IMTA	0.003262	0.089285	0.036538	0.9723
DUMMY09	0.001790	0.015480	0.115617	0.9125
RESID(-1)	-0.143040	0.484913	-0.294980	0.7799
R-squared	0.017105	Mean dependent var	-8.19E-07	
Adjusted R-squared	-0.769211	S.D. dependent var	0.008298	
S.E. of regression	0.011038	Akaike info criterion	-5.868165	
Sum squared resid	0.000609	Schwarz criterion	-5.716872	
Log likelihood	34.34082	Durbin-Watson stat	1.888774	

### **Pruebas de homocedasticidad**

Se realizaron dos pruebas para demostrar que el modelo cumple con los supuestos de regresión lineal en donde la probabilidad de la prueba de ARCH LM con un rezago es de 0.28 y la probabilidad de la prueba de White términos no cruzados es de 0.51.

#### **Prueba ARCH (1 rezago)**

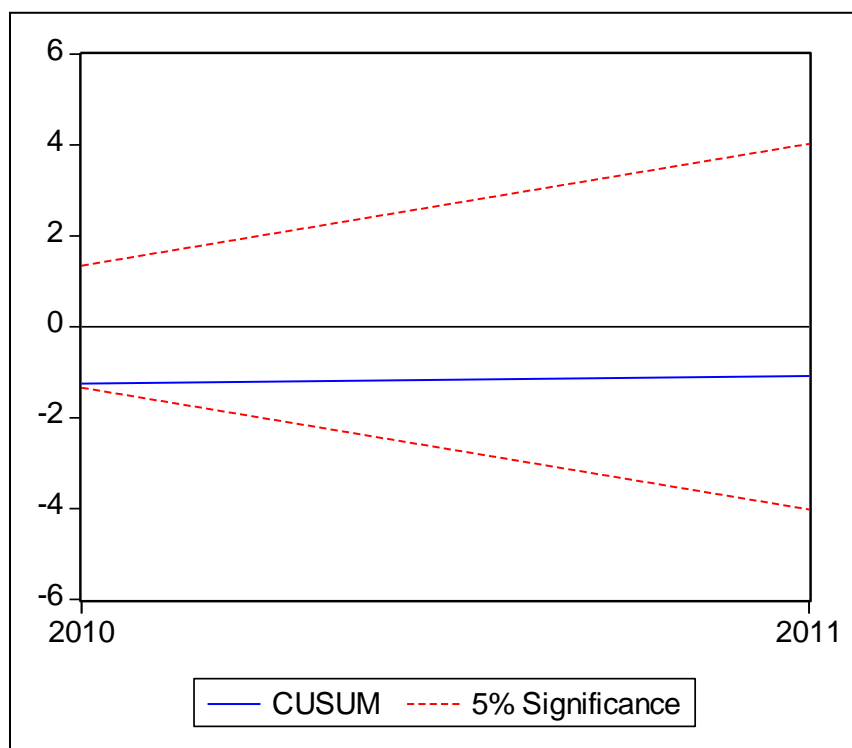
<b>ARCH Test:</b>				
F-statistic	1.333561	Probability	0.286067	
Obs*R-squared	1.440207	Probability	0.230106	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 11/14/12 Time: 19:25				
Sample (adjusted): 2003 2011				
Included observations: 9 after adjustments				
<b>Variable</b>	<b>Coefficient</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t-Statistic</b>	<b>Prob.</b>
C	9.16E-05	3.20E-05	2.858956	0.0244
RESID^2(-1)	-0.431299	0.373484	-1.154799	0.2861
R-squared	0.160023	Mean dependent var	6.20E-05	
Adjusted R-squared	0.040026	S.D. dependent var	5.90E-05	
S.E. of regression	5.78E-05	Akaike info criterion	-16.48580	
Sum squared resid	2.34E-08	Schwarz criterion	-16.44197	
Log likelihood	76.18611	F-statistic	1.333561	
Durbin-Watson stat	1.771999	Prob(F-statistic)	0.286067	

**Prueba de Heterocedasticidad White**

<b>White Heteroskedasticity Test:</b>				
F-statistic	1.084320	Probability	0.515015	
Obs*R-squared	6.844072	Probability	0.335508	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 11/14/12 Time: 19:26				
Sample: 2002 2011				
Included observations: 10				
<b>Variable</b>	<b>Coefficient</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t-Statistic</b>	<b>Prob.</b>
C	0.055419	0.114369	0.484569	0.6612
LTAR	0.000912	0.002032	0.448836	0.6840
LTAR^2	-0.000161	0.000662	-0.243376	0.8234
LPIB	-0.001857	0.001024	-1.813742	0.1674
LTEMP_IMTA	-0.006810	0.081599	-0.083452	0.9387
LTEMP_IMTA^2	0.001154	0.013374	0.086281	0.9367
DUMMY09	-8.21E-05	7.69E-05	-1.066686	0.3643
R-squared	0.684407	Mean dependent var	6.20E-05	
Adjusted R-squared	0.053222	S.D. dependent var	5.56E-05	
S.E. of regression	5.41E-05	Akaike info criterion	-16.61451	
Sum squared resid	8.79E-09	Schwarz criterion	-16.40270	
Log likelihood	90.07256	F-statistic	1.084320	
Durbin-Watson stat	2.335694	Prob(F-statistic)	0.515015	



**La prueba CUSUM indica que el modelo no sufre cambios estructurales**



Y finalmente se observan la grafica de residuales la cual indica en el eje de las ordenadas del lado izquierdo los residuos y en el derecho los valores de la variable dependiente observados y estimados. En este caso se observa que la variable estimada reproduce el comportamiento de la variable dependiente.