

Análisis de la vulnerabilidad actual y futura de los recursos hídricos en el contexto de la adaptación al cambio climático en la península de Baja California

Informe Final



Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella (informes, mapas, bases de datos) pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por **El Colegio de la Frontera Norte (COLEF)**, bajo la Coordinación del Dr. Roberto Sánchez Rodríguez. Contrato CSP-2017-013

Para mayor información sobre este estudio, consultar con la Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático del INECC.

Citar como:

INECC-PNUD México. 2018. "Análisis de la vulnerabilidad actual y futura de los recursos hídricos en el contexto de la adaptación al cambio climático en la Península de Baja California". Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", El Colegio de la Frontera Norte. México, pp. 146.

Contenido

I. SÍNTESIS EJECUTIVA	5
1.1. Antecedentes.....	9
1.2. El Caso de la Península de Baja California.....	11
1.3. Marco Conceptual.....	15
1.4. Estrategia Metodológica	18
1.5. Bases de información.....	25
Referencias	29
II. MARCO METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	36
2.1. Introducción.....	36
2.2. Esquema metodológico para el análisis de la vulnerabilidad actual	39
2.3. Índice de exposición	41
2.4 Índice de sensibilidad	42
2.4.1 Sensibilidad de la población.....	43
2.4.2. Sensibilidad económica	45
2.4.3. Sensibilidad de los ecosistemas	46
2.4.4. Sensibilidad física del agua.....	47
2.4.5. Índice compuesto de sensibilidad	48
2.5. Capacidad Adaptativa	48
2.6. Evidencia de Daños	49
2.7. Índice Compuesto de Vulnerabilidad.....	50
2.8. Análisis de la Vulnerabilidad Futura	52
Referencias	58
III. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LA VULNERABILIDAD FUTURA	62
3.1. Introducción.....	62
3.2. Escenarios de cambio climático.....	62
3.3. Temperatura media	63
3.4. Temperatura Mínima	65
2.5. Temperatura Máxima.....	67
2.6. Precipitación	69
2.7. Oferta y demanda de agua	71
2.8. Disponibilidad de Agua por Habitante	75
2.9. Dimensión Económica del Agua	77
2.10. Valor Futuro del Agua	85
2.11. Costo Social del Agua: Implicaciones en el Ingreso y en la Salud	87
2.12. La Gestión Futura del Agua en el Contexto de los Escenarios de Cambio Climático	92

2.13. Vulnerabilidad Futura del Agua.....	98
2.14. Discusión	108
Referencias	116
IV. PRINCIPALES RESULTADOS DEL PROYECTO	120
Referencias	133

I. SÍNTESIS EJECUTIVA

Este proyecto se elaboró como insumo para la Sexta Comunicación Nacional de Cambio Climático y fue coordinado por el Dr. Roberto Sánchez Rodríguez, con la participación de Aaron Eduardo Morales Santos y Francisco Lares. Analiza uno de los temas más importantes en el desarrollo futuro de México, la gestión del agua en el contexto del cambio climático. El proyecto toma como caso de estudio la Península de Baja California, la segunda región hídrica con menor disponibilidad de agua per cápita en el país sólo detrás de la región del Valle de México debido a la enorme concentración de población en esa región. El proyecto documenta que la gestión del agua en la Península de Baja California es limitada y enfrenta una serie de problemas que son evidencia de crisis con fuertes posibilidades de agravarse en el corto plazo y en el mediano plazo.

El proyecto muestra que esa crisis es el resultado de la falta de políticas y estrategias de acciones eficaces, inclusivas y sustentables para la gestión del agua. Destacan cinco problemas centrales: 1) poca información confiable del estado de los recursos hídricos de la región; 2) poca atención a variables climáticas en el manejo del agua y en su planeación a futuro; 3) la inexistencia de una estrategia para guiar y mantener control en la asignación de derechos de uso de agua en la región de acuerdo a la disponibilidad y el estado de los recursos hídricos, las políticas de desarrollo regional, estatal y municipal y una estrategia para la gestión sustentable del agua; 4) una transición incompleta hacia el modelo de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) implementado por México a través de la Comisión Nacional del Agua, en particular en los órdenes de gobierno estatal y municipal; 5) la falta de recursos humanos, técnicos, económicos y financieros en los organismos operadores de agua a nivel municipal.

El tema central de este proyecto es el análisis de la vulnerabilidad actual y futura del manejo del agua en el contexto del cambio climático. El análisis de la vulnerabilidad incluye un diagnóstico detallando la situación actual del manejo del agua. Los siguientes aspectos de ese diagnóstico destacan por su relevancia para el análisis de la vulnerabilidad actual y futura del manejo del agua en el contexto del cambio climático.

La falta de control en la distribución de los derechos de agua en la región ha creado un fuerte desbalance en el uso del agua y un manejo poco eficaz en los sectores con mayor consumo de agua en la región. El 80% del consumo de agua es de uso agrícola, 12% de uso público urbano-doméstico, 5% es usado por las termoeléctricas, 2% en el uso industrial y 1% tiene otros usos. El gran ausente entre los usos del agua en la Península de Baja California es el uso ecológico que hasta ahora no tiene concesiones en los derechos de uso de agua. La región cuenta con sitios de reconocido valor ecológico y varios de ellos enfrentan problemas para mantener su acceso al agua por la competencia con actividades económicas, en particular la agricultura. Es importante destacar que el sector que consume la mayor parte del agua en la región, el agrícola, es el más ineficiente en su uso.

El proyecto documenta un incremento en la demanda de agua asociado al crecimiento de la población y de la actividad económica, una progresiva caída en el consumo de agua en todos los municipios de la región y un progresivo incremento en el valor del agua en los municipios de Baja California y, en particular en los municipios de Ensenada y Tecate muy por encima de la media estatal para el período 2002-2015. La proyección de ese valor muestra que el valor futuro del agua en Ensenada y Tecate puede llegar a ser cerca del doble que en otros municipios de la región en el 2051. Asociado al valor del agua, es importante tener en cuenta otra conclusión relevante del proyecto: la necesidad de dar atención al costo social de los esquemas de gestión del agua.

Esto es importante porque el proyecto documenta que los grupos sociales en los deciles de ingreso bajo destinan una proporción de su ingreso significativa mayor que los deciles de ingreso alto por el acceso al agua, en particular a partir del 2008. El proyecto documenta una creciente disminución del volumen de agua renovable por habitante (ARh) en la región para el período del año 2000 al 2015 (de 1610 a 1115 m³/habitante/año). A nivel entidad federativa se muestran diferencias importantes entre los estados de Baja California (BC) y Baja California Sur (BCS). La situación de la primera es aún más grave puesto que el ARh disminuye al pasar de 1047 a 858 m³/habitante/año en el mismo período. Los resultados del análisis prevén que el ARh seguirá disminuyendo en la región a 899 m³/habitante/año en el 2030. Esa misma tendencia se prevé para BC y BCS, al reducirse a 717 y 1143 m³/habitante/año respectivamente en el año 2030. La situación será aún más crítica en Baja California al pasar a

sólo 625 m³/habitante/año mientras que Baja California Sur llegará a 800 m³/habitante/año para el 2051. El conjunto de los aspectos arriba mencionados refuerza las evidencias de crisis mencionadas en la primera parte de este documento. Tomando en cuenta este contexto, el proyecto utiliza el análisis de la vulnerabilidad como una herramienta analítica para incorporar el contexto del cambio climático y proporcionar información adicional útil en el diseño de política pública y acciones de la sociedad para mejorar la gestión actual y futuro del agua y su planeación de corto, mediano y largo plazo y, para reducir esa vulnerabilidad y promover la adaptación al cambio climático.

El proyecto utilizó la definición de vulnerabilidad del IPCC (2007) que la define como una función $V = f(E, S, C)$, donde 'V' es la Vulnerabilidad, 'E' es la exposición, 'S' la sensibilidad y 'C' la capacidad adaptativa. Este proyecto incluyó una dimensional explicativa adicional, la evidencia de daños 'D'. De esta forma, la función de la vulnerabilidad del proyecto es $V = f(E, S, C, D)$ donde exposición, sensibilidad y evidencia de daños se representan con un signo positivo debido a que aumentan la vulnerabilidad, mientras que la capacidad adaptativa la disminuye por lo que su signo es negativo. El proyecto desarrolló una serie de índices para cada componente de la vulnerabilidad estandarizados en una escala que va de 0 a 1, los cuales posicionan a cada uno de los 10 municipios de la Península de Baja California desde el más vulnerable (valor 1) hasta el menos vulnerable (valor 0). Finalmente, esos índices se adicionan para dar un valor integrado de vulnerabilidad estandarizado a escala de 0 a 1.

Una contribución del análisis de la vulnerabilidad actual es la creación de una perspectiva integrada de los problemas en el manejo del agua. El análisis de la exposición incorpora variables climáticas no consideradas en detalle en el Programa Hídrico Regional de la Península de Baja California y en los Programas Hídricos Estatales de Baja California y Baja California Sur y en los Programas de Manejo de los Organismos Operadores del Agua en la región. El índice de sensibilidad se construyó tomando en cuenta las condiciones de la población (sensibilidad por carencias sociales), la sensibilidad en los sistemas económicos, la sensibilidad de los ecosistemas y la sensibilidad física del agua. La capacidad adaptativa incluye 4 variables: brecha operativa, costo de producción del agua, plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales e infraestructura para suministro de agua y otra infraestructura útil en la gestión del agua (presas y desaladoras). La evidencia de daños

presenta información de daños asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en el período 2003-2017. Una contribución adicional del análisis de la vulnerabilidad es la creación de índices compuestos para cada una de las cuatro componentes de la vulnerabilidad, su análisis integrado en la ecuación arriba mencionada y su incorporación en el Sistema de Información Geográfica que facilita la visualización de los resultados del proyecto. Es importante resaltar que el análisis de la vulnerabilidad contribuye no sólo a identificar los municipios vulnerables, pero también a entender mejor sus causas subyacentes que facilita el diseño de políticas y estrategias de acción tanto en políticas públicas, como acciones de los sectores privado y social.

Los resultados del análisis de vulnerabilidad actual y sus causas subyacentes muestran a Mexicali como el municipio con el valor más alto en la vulnerabilidad actual seguido de Mulegé, Tecate y Playas de Rosarito con valor medio alto, los municipios de Comondú y Los Cabos con valor medio, La Paz, Tijuana y Ensenada con medio bajo y Loreto con el valor más bajo. A partir del análisis de la vulnerabilidad actual, el proyecto analiza la vulnerabilidad futura tomando en cuenta los escenarios del cambio climático desarrollados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) para esta Sexta Comunicación Nacional de Cambio Climático. Los resultados son indicativos de las anomalías esperadas en las variables de precipitación y temperatura (promedio, máxima y mínima) derivadas de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, forzados con los RCP4.5 y RCP8.5 para los horizontes 2030, 2041 y 2051.

Las proyecciones de cambio en la temperatura (máxima y mínima) y la precipitación muestran que los incrementos en la temperatura media global para esos horizontes serían relativamente superiores al incremento medio global, en particular en el estado de Baja California, mientras que los escenarios de cambio climático muestran una reducción en la precipitación en la Península de Baja California. El análisis de la vulnerabilidad futura tomó en cuenta las diferencias en los valores de los escenarios para los horizontes 2030, 2041 y 2051 (temperatura máxima, mínima y precipitación) en los municipios de la península y los sobrepuso a los valores de la vulnerabilidad actual. El análisis de la vulnerabilidad futura incluyó además los resultados del análisis del valor futuro del agua y de su impacto social a partir del ingreso. Los resultados modifican los valores de la vulnerabilidad actual. Ensenada

aparece como el municipio con mayor vulnerabilidad futura seguido de cerca de Mexicali al tomar en cuenta los valores para los dos modelos de circulación general arriba mencionados. En tercer lugar, aparece Tecate y en cuarto lugar Tijuana. Los municipios de Playas de Rosarito, Los Cabos y La Paz siguen en esa lista de acuerdo con sus valores de vulnerabilidad futura, seguidos a cierta distancia por Loreto, Mulegé y Comondú. Una contribución de la vulnerabilidad futura es facilitar el análisis del posible impacto del cambio climático en el manejo del agua en la Península de Baja California.

Ese análisis muestra que la crisis del agua en la región tiende a agravarse en las próximas décadas al tomar en cuenta los cambios en el clima con consecuencias sociales, ecológicas y económicas relevantes. La vulnerabilidad futura presenta valores más elevados del déficit de agua renovable por habitante considerado en el Programa Hídrico Regional de la Península de Baja California, estimado sin considerar los escenarios del cambio climático. Ese resultado fortalece la necesidad de actualizar las estrategias actuales del Programa Hídrico Regional. Otra contribución del análisis de la vulnerabilidad futura es incorporar el valor futuro del agua y las consecuencias sociales a través del ingreso, no consideradas en el Programa Hídrico Regional de la Península de Baja California y los Programas Hídricos Estatales de Baja California y Baja California Sur.

Los resultados del proyecto resaltan la importancia de mejorar y trascender el modelo actual de gestión del agua en México basado en reducir la escasez incrementando la oferta de agua y mejorar su eficiencia económica y deben de estar enmarcados en el contexto de una planeación de largo plazo inclusiva del cambio climático y de los costos sociales y ecológicos no considerados hasta ahora en la gestión de este vital recurso. Lograr estos cambios no es una tarea sencilla, pero es un deber ineludible. Los resultados de este proyecto son una contribución en este sentido.

1.1. Antecedentes

La comunidad internacional ha considerado el problema del agua uno de los temas de mayor impacto para el desarrollo de las sociedades durante las últimas décadas. La declaración de Dublín sobre Agua y Desarrollo Sostenible de 1992 es un antecedente importante de la creciente atención a este tema. Sus principios consideran el agua como un recurso esencial y

finito que requiere un enfoque integral, inclusivo y equitativo¹. La atención internacional al problema del agua se ha incrementado en años recientes. Las siete ediciones del Foro Mundial del Agua realizadas hasta ahora (1997-2015) ilustran la importancia de este tema para la comunidad internacional. Entre las contribuciones regionales importantes destaca el esfuerzo de la Comunidad Europea a través del European Water Framework Directive, un importante instrumento de política publicado en el año 2000 y su ampliación para el caso de los acuíferos en el 2006². También destacan los reportes de Naciones Unidas sobre el Desarrollo del Agua Mundial publicados por UNESCO en los últimos años.

Las últimas dos publicaciones son particularmente relevantes. El reporte del 2015 destaca las complejas interacciones entre el agua y los diversos aspectos del desarrollo (salud, ingreso, alimentación, energía, urbanización, producción y consumo y cambio climático), los retos para cubrir la creciente demanda de agua para diversos usos y el incremento de los conflictos por el acceso a este recurso actualmente y en el futuro (UNESCO, 2015). El último de estos reportes del 2017, destaca la importancia del reciclaje agua tratada como un recurso potencial poco aprovechado hasta ahora (UNESCO, 2017).

La comunidad científica internacional también ha contribuido en esta misma dirección. Sobresale el Global Water System Project que operó bajo el auspicio del Consejo Internacional de la Ciencia (ICSU) y el Consejo Internacional de las Ciencias Sociales (ISSC). La nueva versión de ese proyecto es el Sustainable Water Future Programme de Future Earth, también con el auspicio del ICSU, el ISSC y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente³. Un aspecto en común en los esfuerzos arriba mencionados es reconocer la enorme necesidad de esquemas de gestión integral de los recursos de agua, la importancia de nuevas formas de estudiar y determinar el valor económico y social del agua, el desarrollo de nuevos esquemas operativos para la gestión integral del agua y el papel clave de cambios institucionales en el desarrollo de esos esquemas.

¹ <http://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/documents/english/icwedec.html>

² http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

³ <http://www.futureearth.org/projects/water-future-sustainable-water-future-programme>

Un aspecto adicional relevante a la búsqueda de nuevos esquemas de gestión integral del agua es la importancia de acciones de corto y largo plazo tomando en cuenta los escenarios del cambio climático. Un referente esencial al respecto son las contribuciones realizadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). De particular importancia para esta propuesta son las conclusiones del Jiménez et al. (2014), en el capítulo 3 sobre agua, del Grupo de Trabajo II del Quinto Reporte del IPCC.

El reporte destaca entre otros aspectos los siguientes: está proyectado que el cambio climático disminuirá significativamente el agua superficial y subterránea renovable en la mayoría de las regiones áridas subtropicales; el cambio climático posiblemente incrementará la frecuencias de la sequía meteorológica y la sequía agrícola (menos humedad en el suelo) en las regiones áridas; probablemente se incrementará la frecuencia de sequías hidrológicas cortas (menos agua superficial y subterránea) en esas regiones; de igual forma se proyecta que el cambio climático reducirá la calidad del agua creando riesgos para el agua potable, aún en el caso de los sistemas con tratamientos convencionales (Jiménez et al., 2014). Estas conclusiones subrayan la necesidad de estrategias y políticas para la gestión integral del agua con una perspectiva de corto y largo plazo, en particular en zonas como el Noroeste de México.

1.2. El Caso de la Península de Baja California

La Península de Baja California se localiza en una de las zonas con menor precipitación del país y con recursos de agua muy limitados. La parte norte de la península concentra la mayor parte de la población, las actividades económicas y los recursos de agua gracias a la dotación que recibe México de agua del Río Colorado a partir del Tratado Binacional de Límites y Aguas de 1944.

Los recursos de agua en el resto de la península son esencialmente acuíferos. El crecimiento poblacional, los cambios en las actividades productivas y el uso tradicional y deficiente del recurso, especialmente en la agricultura, significa una presión constante sobre la disponibilidad, calidad y usos del agua. El principal consumidor del agua es la agricultura, seguido del uso público urbano, el industrial y la generación de electricidad.

Tabla 1. Usos del Agua en la Península de Baja California, al 31 de enero de 2017

Estado	Volumen concesionado Mm ³	Agricultura	Abasto público urbano	Industria	Generación de electricidad
Baja California	3,378.7	2,599.7	195.9	2,64.7.9	126.1
Baja California Sur	423.8	224.3	64.9	5.4	0

Fuente: Elaboración propia con información de (CONAGUA, s/f).

El Programa Nacional Hídrico 2014-2018 menciona que las ineficiencias en el uso del agua son del 50% en México (Presidencia de la República, 2014b). En el caso de la agricultura este porcentaje es aún mayor. Una alternativa para reducir el consumo de agua en el sector agrícola, contemplada en este plan, es intensificar la tecnificación del riego en los distritos y unidades de riego. Existe un precedente útil en este sentido en Baja California Sur en el distrito de riego de Santo Domingo (distrito 066).

La sobreexplotación del acuífero en la segunda parte del siglo XX llegó a niveles que ponían en riesgo la actividad agrícola en el distrito. Aunque la tecnificación del riego no es homogénea entre todos los productores y depende de su capacidad económica, cerca del 20% de los agricultores han implementado técnicas altamente eficientes en el manejo del agua. Esto contrasta con la situación de otros distritos de riego en la región en donde no existen evidencias de cambios positivos en este sentido (Trovo et al., 2010) lo que ha llevado a una sobreexplotación de los acuíferos.

La región cuenta con 87 acuíferos, de los cuáles ocho se encuentran sobreexplotados, nueve con intrusión de agua marina y cinco con salinización del agua (SEDATU, 2014). Es importante señalar que el fenómeno de la intrusión de agua marina es particular del noroeste mexicano. Este fenómeno se debe principalmente a factores humanos lo que ha repercutido en la productividad y amenaza la disponibilidad de agua para centros urbanos (Adams, Moreno, & Lutz, 2012; Monreal et al., 2001; Moreno, 2006). Todos ellos enfrentan actualmente problemas para asegurar su abasto de agua y se considera que la situación se agrave en las próximas décadas (SEDATU, 2014).

Es interesante notar que el manejo de agua tradicional favoreciendo la oferta ha llevado a buscar nuevas fuentes de este recurso y no a la creación de su gestión integral que asegure su sostenibilidad. El enfoque tradicional basado en la oferta no toma en cuenta el valor actual y futuro del agua necesario para un manejo eficaz y sostenible de este recurso (Pérez, Constantino, & Dávila, 2016). La búsqueda de fuentes alternas de agua ha favorecido la desalinización. En Baja California existen 23 plantas con 38 unidades que representan el 8.74 % del total nacional y con una capacidad de 51,938 metros cúbicos por día (m³/día).

Es interesante notar que mientras que la mayoría de las plantas desaladoras operando en México están enfocadas al turismo, las plantas desaladoras en Baja California están orientadas a mantener el abasto de agua para la agricultura. La gran mayoría de las plantas son privadas. En Baja California Sur existen 71 plantas con 73 unidades que representan el 16.78% del total nacional y tienen una capacidad de 36,971 m³/día. La planta de los Cabos con una capacidad de 200 litros por segundo (l/s) es por el momento la más grande en México. El Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018, identifica la construcción actual de otra desaladora en Ensenada y próximamente en Tijuana-Rosarito y en la Paz con el fin de reducir su déficit de agua (Presidencia de la República, 2014a).

Los limitados recursos de agua representan una presión para otras actividades económicas importantes en la región, en particular el turismo. La economía de Baja California Sur (La Paz, Los Cabos, Loreto, Mulegé) se sustenta en buena medida de esa actividad. El turismo es también una actividad relevante en Baja California a lo largo de la costa Tijuana-Ensenada y en menor medida en San Felipe en el Golfo de California. Todos esos destinos turísticos tienen problemas de abasto de agua. El consumo de agua en las áreas urbanas oscila entre 200 y 300 litros por persona por día, mientras que la demanda de agua por cuarto de hotel en una zona turística de playa es aproximadamente de 1,500 litros diarios por persona. El problema de abasto de ese recurso representa una limitante para el desarrollo de esa actividad y una posible fuente de conflicto por la competencia de esos escasos recursos con otros tipos de usuarios.

El problema del agua es central para el crecimiento económico, el bienestar social, la protección de ecosistemas y el desarrollo sostenible en la Península de Baja California y se espera se agrave en el futuro. El Programa Nacional Hídrico 2014-2018 considera que las variaciones de la temperatura y precipitación entre 2013 y 2030 se intensificarán afectando al sector hídrico -disponibilidad de agua superficial y subterránea (Presidencia de la República, 2014b). Este programa estima además que, para la última década del siglo XXI, la disminución de la precipitación en la temporada invernal (la temporada de mayor precipitación en la región que permite la recarga de los acuíferos) puede ser del 30% con un incremento de la temperatura hasta de 5°C (Ibidem).

Un referente adicional de los problemas de agua en el futuro en la Península de Baja California es la sequía que afecta el Suroeste de Estados Unidos y el Noroeste de México durante los últimos años. Esa condición ha ocasionado pérdidas millonarias en California y la imposición de recortes históricos en el abasto de agua en los condados del estado (Nagourney, Healy, & Schwartz, 2015). La sequía afecta la cuenca del Río Colorado, fuente principal de agua en el Estado de Baja California y el Suroeste de Estados Unidos. Estudios previos preveían un decremento entre un 10% y un 20 % en la disposición de agua en esa cuenca asociada al cambio climático (Gleick, 1990; Gleick & Chalecki, 1999) y un estudio reciente analizando el impacto de la actual sequía considera que la integridad hídrica en esa cuenca está seriamente comprometida (Castle et al., 2014).

Otro estudio reciente del posible impacto del cambio climático en la parte alta del Río Colorado reporta que los modelos sugieren variaciones en el flujo del agua causado por una reducción en la precipitación y un incremento en la temperatura. El estudio sugiere que la reducción de agua en las presas a lo largo de la cuenca puede llegar al 70%, en algunos casos, debido a una combinación de factores (Kopytkovskiy, Geza, & McCray, 2015). Un reciente estudio de la NASA y la Universidad de California Irvine reporta que la región de la cuenca del Río Colorado ha estado bajo estrés hídrico causado por una condición de sequía extrema y prolongada desde el año 2000 (los 14 años más secos en los últimos 100 años)⁴. Otro estudio reciente de la NASA prevé mega sequías en las próximas décadas causadas por el cambio climático

4 <http://www.nasa.gov/press/2014/july/satellite-study-reveals-parched-us-west-using-up-underground-water/#.VXo1brqsD8k>

afectando buena parte del oeste de Estados Unidos y el Noroeste de México⁵. Diversos autores han resaltado la importancia de la adaptación al estrés hídrico en el contexto de cambio climático, en particular a partir de una gestión integral del agua en el corto, mediano y largo plazo (Bhave, Mishra, & Raghuwanshi, 2014; Lempert & Groves, 2010; Pingale, Jat, & Khare, 2014). Los estados afectados por la sequía en el oeste de Estados Unidos han empezado a crear alternativas de adaptación en el manejo del agua en el contexto del cambio climático, incluyendo cambios en los marcos legales, acciones institucionales, construcción de infraestructura, programas de conservación, reciclaje y cambios en los patrones de consumo. Es importante notar que los estados de Baja California y Baja California Sur mantienen un enfoque de manejo tradicional de los recursos de agua y no han incorporado los escenarios futuros de la sequía y el cambio climático en sus planes estatales agua. Esta investigación es una contribución en esa dirección.

1.3. Marco Conceptual

El marco conceptual de la investigación está compuesto de dos enfoques complementarios. El primero se orienta a la gestión integral del agua. Un antecedente importante a este enfoque es la propuesta para el Manejo Integrado de los Recursos de Agua (Integrated Water Resources Management o IWRM por sus siglas en inglés) que se deriva de los principios de Dublín arriba mencionados y promovido por la red internacional Global Water Partnership (GWP). Esta propuesta incorpora los principios de Dublín, reconoce la diversidad de usos de este recurso (agricultura, generación de energía, doméstico, transporte, industria, comercio y servicios, ambiental) y que algunos de ellos tienen mayor relevancia social que otros, pero con una capacidad limitada para pagar por el recurso.

La GWP considera que la adopción y aplicación del IWRM a nivel internacional requiere cambiar la forma como se maneja los recursos de agua y la forma como se realizan inversiones en este sector en países desarrollados y en particular en países en desarrollo (Rogers & Huber, 1998). La definición de política pública para la gestión integrada de los recursos de agua en México debe tomar en cuenta estos aspectos.

5 <http://www.nasa.gov/press/2015/february/nasa-study-finds-carbon-emissions-could-dramatically-increase-risk-of-us>

Diversos autores han aportado aspectos relevantes en este sentido, destacando la importancia de trascender del enfoque tradicional del manejo de agua que prioriza la búsqueda de nuevas fuentes de agua en detrimento de estrategias de ahorro y una gestión integral más eficiente del recurso (Bisaro, Hinkel, & Kranz, 2010; Huntjens et al., 2008; Medema & Jeffrey, 2005; Morales, 2012; Pahl-Wostl, 2006). Un debate aún abierto relevante a la gestión integral del agua es la definición de su valor económico. La Declaración de Dublín de 1992 reconoce como uno de sus principios que el agua tiene un valor económico y debe ser reconocida como un bien económico tomando en cuenta su disponibilidad y criterio de equidad. Este último principio ha creado confusión en particular en economistas con una perspectiva tradicional enfatizando que el precio del agua debe ser establecido a través de su mercado (la asignación del agua se da a los usos con los valores más altos).

Este enfoque es preocupante también para las estrategias de largo plazo considerando los escenarios del cambio climático. Un manejo del recurso a través del mercado ignora los beneficios de largo plazo. La tasa de descuento considera poco relevantes los beneficios y costos de largo plazo (más de 20 años). En contraste, otra escuela de pensamiento interpreta el principio del agua como un valor económico como un proceso de toma de decisiones integrado para la distribución de recursos escasos que no involucra necesariamente transacciones financieras (McNeill, 1998; Perry, Rock, & Seckler, 1997; Van der Zaag & Savenije, 2006). Este enfoque nos parece más adecuado para la gestión integral del agua en México. Los argumentos que presentan Van der Zaag & Savejine (2006) nos parecen importantes en este sentido.

Para ellos el agua es un bien especial para el cual no hay sustituto por lo que su distribución es un tema social que no puede dejarse solo a las fuerzas del mercado. Por ello, el precio del agua no puede ser determinado solo por el mercado; el agua debe tener un precio para lograr dos objetivos: recuperar el costo de la dotación de servicios de agua particulares y, dar una señal clara a los usuarios de que el agua es un recurso escaso y debe ser usado de manera inteligente. Estos autores resaltan 6 características del agua importantes para su manejo: el agua es esencial para la vida, la producción económica y el ambiente; el agua no puede ser substituida por otro recurso; es un recurso finito; es un recurso que fluye y si no se captura se pierde; es un sistema complejo (ciclo del agua); es un recurso voluminoso y su transporte a

largas distancias y contra la gravedad es difícil y costoso (Ibidem). Es importante considerar esas características tanto en el manejo de corto como de largo plazo del recurso. Por su parte, Rogers et al. (1998) consideran que el valor del agua y los costos asociados con su distribución deben entender los costos directos e indirectos involucrados en la provisión del agua y entender cómo el valor del agua se deriva de su uso, que puede ser afectado por la confiabilidad en el abasto y la calidad. Para ellos, el uso sostenible del agua requiere que los valores y costos del recurso deben encontrarse en balance. Es decir, el costo completo del agua debe equivaler al valor sostenible en uso.

Pérez, Constantino & Dávila (2016) realizan un análisis de modelo dominante de manejo de agua en México y destacan su enfoque a incrementar la oferta del recurso bajo la idea de que se trata de un recurso abundante en este país, lo que ha llevado a patrones de explotación en todos los usuarios, sobrepasando los límites físicos de la infraestructura disponible para su manejo y generando tensiones asociadas a la escasez del recurso. En su análisis de los mercados de agua en México, Constantino (2016) subraya la limitada efectividad de la estrategia de precios usada en los esquemas de manejo de agua. Para entender esas limitantes, resalta la importancia de reconocer que el agua no es sólo un bien económico, pero también un bien que no tiene sustituto, que es transversal y que constituye un monopolio natural. Señala además que la evolución institucional en el manejo del recurso se ha traducido en un sistema frágil caracterizado por la falta de coordinación entre diferentes niveles de manejo, en el esquema de las políticas de agua en México.

Otro enfoque considerado en este marco conceptual es el estudio de la vulnerabilidad en el contexto del cambio climático. En la literatura internacional dominan tres escuelas de pensamiento las cuales tienen su propia conceptualización de la vulnerabilidad (Füssel, 2007). El primer enfoque es el de riesgo-peligro, característico de la literatura en gestión de riesgos y desastres, promovido a través de los esquemas de Naciones Unidas para la reducción de desastres; donde vulnerabilidad es la relación dosis-respuesta entre un riesgo exógeno al sistema y sus efectos adversos. El segundo enfoque es el constructivista social que es ampliamente utilizado en la economía política y la geografía humana y se refiere a la vulnerabilidad (social) como una condición a priori presente en un hogar o una comunidad la cual está determinada por factores socio-económicos y políticos, y se relaciona con las

capacidades sociales de una comunidad para enfrentar presiones externas. El tercer enfoque es el de las mediciones integrales, y definen vulnerabilidad como una medida integrada de la magnitud esperada de los efectos adversos en un sistema, los cuales son causados por un nivel dado de ciertos estresores externos. Para esta escuela de pensamiento, vulnerabilidad incluye una dimensión externa que es representada por la ‘exposición’ de un sistema ante las variaciones en el clima –este atributo está íntimamente ligado al primer enfoque-, pero también incluye una dimensión interna, factores no climáticos, comprendida en la ‘sensibilidad’ y la ‘capacidad adaptativa’ a esos estresores.

Este atributo es equiparable a las causas socio-económicas de la sensibilidad y exposición contenidas en la segunda escuela de pensamiento (Adger, 2006; Füssel, 2007; IPCC, 2007). Esta es la definición de trabajo de la vulnerabilidad adoptada en esta propuesta ya que sus tres elementos, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, aportan elementos útiles a la creación de esquemas de gestión integral del agua y al diseño de estrategias de adaptación al cambio climático. El vínculo entre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático ha sido reconocido por diversas organizaciones internacionales (CRID, 2009; Daze, Ambrose, & Ehrhart, 2009; IFRC, 2008, 2009; Jha, Miner, & Stanton, 2013; UN-HABITAT, 2014; UNDP, 2010; USAID, 2007; WORLD BANK, 2011).

1.4. Estrategia Metodológica

En la etapa inicial del proyecto se establece un programa de trabajo para diseñar un esquema de la gestión integral del agua en el contexto del cambio climático, en los estados de Baja California y Baja California Sur. Se espera que este esquema se transforme en un referente útil para otras regiones, estados y municipios en México. El programa de trabajo describe a detalle el marco conceptual y metodológico para una gestión integral del agua. Establece además las actividades y productos entregables para dicho fin, enunciando los responsables y los plazos de entrega. Incluye los mecanismos de coordinación entre el INECC, el PNUD y El Colef.

La segunda parte del proyecto realiza un diagnóstico de la situación actual en el manejo de los recursos de agua en la Región Hidrológico Administrativa I de CONAGUA que incluye los estados de Baja California y Baja California Sur. Ese diagnóstico destaca cuatro dimensiones:

- i) La dimensión física del agua. El diagnóstico incluye el análisis de fuentes actuales y futuras del agua y sus características. El análisis recurre a diversas fuentes de información entre las que destacan el Registro Público de Derechos de Agua (<http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>), el Localizador de Aprovechamientos de Agua (LOCREPDA)⁶, la base de datos del volumen total de agua subterráneas concesionada⁷, la base de datos de Acuíferos sobreexplotados, con intrusión salina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos o aguas subterráneas salobres⁸, la de capacidad de almacenamiento en las presas principales⁹, las estadísticas del agua en México¹⁰, el Banco Nacional de Aguas Superficiales¹¹, el Sistema Nacional de Información del Agua¹², y el Programa Nacional de Reservas de Agua (PNRA) para el Medio Ambiente¹³.
- ii) La estructura de gobernanza del agua, la infraestructura tecnológica existente y planeada, la estructura financiera del manejo del agua y la estructura actual de usuarios del agua en donde se considera tanto el esquema a nivel nacional a partir del Programa Nacional Hídrico 2014-2018, el Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 y los Programas Federales de Agua Potable y Saneamiento¹⁴ y el Programa Hídrico Regional Visión 2030¹⁵. A nivel estatal a través del Programa Estatal Hídrico de Baja California 2008-2013¹⁶, el Programa Estatal de Acción frente al Cambio Climático de Baja California¹⁷, el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático¹⁸ y el Programa Hídrico Estatal de Baja California Sur, Visión 2030¹⁹.

6 <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/localizador-de-aprovechamientos-locrepda>

7

<http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Disponibilidad/volumen%20total%20concesionado%20de%20agua%20subterranea.csv>

8 <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Disponibilidad/Acuiferos%20sobre%20explotados.csv>

9

<http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Disponibilidad/almacenamiento%20en%20presas%20principales.csv>

¹⁰ <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>

¹¹ <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>

¹² <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>

¹³ <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-de-reservas-de-agua-pnra-para-el-medio-ambiente>

¹⁴ <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-federales-de-agua-potable-y-saneamiento?idiom=es>

¹⁵ <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf>

¹⁶ <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-federales-de-agua-potable-y-saneamiento?idiom=es>

¹⁷ <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001769.pdf>

¹⁸ http://spyde.bcs.gob.mx/cgds/files/proyectos/PEACC/foros/PLAN_ESTATAL_DE_ACCION_ANTE_EL_CAMBIO_CLIMATICO-BCS_documento_para_consulta_publica.pdf

¹⁹ <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/gestion-del-agua/1325-politicas-del-agua/23439-programa-hidrico-estatal-vision-2030-baja-california-sur>

- iii) La dimensión social de los patrones de consumo actual y las consecuencias derivadas de las dificultades para lograr un acceso necesario al agua de acuerdo a los estándares de Naciones Unidas (WHO, 2006) a partir de la información estadística disponible de los organismos estatales y municipales de operación del agua en la región, el Manual de Operación y Procedimientos del Programa de Mejoramiento de Eficiencias de Organismos Operadores²⁰, el Programa Censal de los Organismos Operadores de Agua en México²¹ y de información obtenida a través de trabajo de campo.
- iv) La dimensión económica a partir del análisis del valor actual del agua comparándolo con el costo del agua. La información disponible del Panorama censal de los organismos operadores de agua en México será el insumo básico para realizar dicho análisis tanto para la estimación del valor actual, así como para el desarrollo de escenarios futuros de dichos organismos²².
- v) La dimensión ambiental en donde se considera los posibles usos ecológicos del agua y su impacto en el balance entre la oferta y la demanda del agua a partir de la información disponible en la base de datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales de la SEMARNAT²³ y de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas²⁴.

La tercera etapa retoma los resultados del diagnóstico para llevar a cabo un análisis de la vulnerabilidad en el manejo de los recursos de agua ante el cambio climático tomando como unidad de análisis los municipios de la Península de Baja California pero no del recurso agua en si mismo²⁵. El estudio se centra en la vulnerabilidad de la población, de los sistemas productivos y de los ecosistemas con el fin de aportar elementos útiles a la gestión integral de los recursos de agua y para el diseño de políticas de adaptación.

20 <http://www.agua.org.mx/actua/exige/organismos-operadores/40989-manual-de-operacion-y-procedimientos-del-programa-de-mejoramiento-de-eficiencias-de-organismos-operadores-prome>

21 http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf

22 Ibidem

23 <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>

24 <http://www.conanp.gob.mx/regionales/>

25 La sección del diagnóstico de la situación actual en el manejo del agua toma en cuenta las variables físicas de ese recurso: volumen anual de escurrimiento natural (hm³), recarga media del acuífero (hm³), cuencas con intrusión salina, salinización de suelos y agua subterráneas salobres, zonas de veda en aguas subterráneas y superficiales, evolución del uso de suelo y vegetación (considera zonas urbanas y asentamientos humanos, cuerpos de agua y áreas agrícolas, entre otros).

A partir de la definición de trabajo de vulnerabilidad del IPCC (2007), se consideran las variables relevantes para el estudio de la variabilidad climática y del cambio climático. La exposición considera las variables relevantes de la variabilidad climática. Este análisis se complementa con los registros históricos disponibles de los promedios y extremos en esas variables (temperatura y precipitación) en los municipios y los estados en la Región Hídrica I. Dicha información se obtendrá de las estaciones climatológicas de CONAGUA 26 y de CLICOM27, además se tomarán en cuenta la información del Monitor de Sequía del Servicio Meteorológico Nacional²⁸, entre otros.

La sensibilidad utiliza variables sociodemográficas, entre ellas las características de la población y de la vivienda, presentes en los Censos y Conteos de Población y Vivienda del INEGI²⁹, las actividades económicas preponderantes relevantes para entender la dimensión social de la vulnerabilidad de la población y de las actividades productivas a partir de los recursos y capacidad para asegurar su acceso al agua, dicha información se retomará de los Censos Económicos del INEGI³⁰, el Sistema de Cuentas Nacionales de México³¹, así como de la información de los distritos de riego de CONAGUA³², entre otros datos relevantes. La capacidad adaptativa es entendida en esta investigación como las fortalezas y deficiencias de los órganos estatales y municipales operadores de agua, su capacidad de planeación de corto, mediano y largo plazo y para resolver conflictos asociados al acceso al agua y, las características de la infraestructura para la gestión del agua existente en la región.

Esa información se obtendrá del Programa de Indicadores de Gestión de los Organismos Operadores³³, además se contemplan visitas de campo en a esos organismos en la región de estudio, para complementar dicha información. En esta etapa se presentarán los lineamientos generales del sistema de información geográfica (SIG) para visualizar y sistematizar la información en el territorio, así como mapas iniciales de los diagnósticos. La cuarta etapa considera vincular los resultados del análisis de la vulnerabilidad con el análisis de los escenarios del cambio climático. Para ello se parte de los escenarios considerados en los

26 <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>

27 <http://clicom-mex.cicese.mx/>

28 <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

29 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>

30 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/>

31 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/>

32 <http://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>

33 <http://www.pigoo.gob.mx/>

Planes Estatales de Acción Climática en la región de estudio, así como de la actualización realizada por el INECC a la luz de los escenarios desarrollados para la 5^a Comunicación Nacional a la CMNUCC³⁴. Es relevante mencionar que el proyecto no crea nuevos escenarios, sino utiliza los que ya han realizado instituciones especializadas en el tema, particularmente los de la “Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación”, desarrollados por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y el INECC³⁵. En este sentido, se utilizarán los escenarios espaciales de cambio climático regionales (para la RHA I) con resolución espacial de 0.5°x0.5°, de latitud y longitud, geográficas, generados a partir de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, forzados con los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para los horizontes de tiempo en que se alcance un incremento de 1°C, 1.5°C y 2°C en la temperatura media global.

Con esa información se estudia el valor económico futuro del agua y su posible impacto social a partir de dos variables, ingreso y salud en el contexto del cambio climático. Para la estimación del valor futuro del agua se realiza un análisis a diferentes escalas. Primero, a manera marco contextual, se utilizan datos de la Región Hidrológico Administrativa I Península de Baja California, en términos de la disponibilidad natural media del recurso, el grado de presión sobre el mismo, así como la contribución de esta región al PIB nacional, además de sus dinámicas poblacional, urbana y económica. Un segundo nivel de análisis se da a nivel entidad federativa. Para ello se identifican las fuentes de donde se obtiene el agua, así como el volumen consumido por grandes grupos de usuarios: domésticos, agrícolas, industriales, comerciales, servicios, y ecosistemas. Un tercer nivel de análisis se realiza a nivel urbano para los organismos operadores que presenten mejor calidad en su información.

Para este análisis se retoman algunos de los elementos del estudio “valoración de los componentes del balance hídrico utilizando información estadística y geográfica: la cuenca del Valle de México”, elaborado por Gómez-Reyes (2013). En la ecuación siguiente (misma que es derivada del estudio antes mencionado), la primera parte corresponde al abastecimiento agregado, misma que sirve para construir las curvas de oferta y demanda de agua. Por su parte, la segunda parte de la ecuación corresponde al agua potencial, cuyo valor tendría que estimarse. La última parte corresponde al volumen de agua que tendría que ser desalojado.

34 <http://escenarios.inecc.gob.mx/>

35 <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>

$$\frac{DV}{Dt} = \underbrace{\left(\underbrace{Q_{\text{externo}} + Q_{\text{pozos}} + Q_{\text{reuso}} - Q_{\text{crudo}}}_{\text{Oferta}} - \underbrace{(Q_{\text{consumo}} + Q_{\text{perdida}})}_{\text{demanda}} \right)}_{\text{mercado de agua}} + \underbrace{\left(\underbrace{Q_{\text{residual}} - Q_{\text{tratamiento}}}_{\text{drenaje sanitario}} \right)}_{\text{recurso potencial}} - \underbrace{Q_{\text{desalojo}}}_{\text{excedente}}$$

Donde:

Q_{externo} = Volumen de agua importado

Q_{pozo} = Volumen de agua extraído del acuífero

Q_{reuso} = Volumen de agua de re-uso (tratada, sin tratamiento y de escurrimientos)

Q_{cruda} = Volumen de agua residual sin tratamiento para su re-uso

Q_{consumo} = Volumen del consumo de agua para sus diversos usos

Q_{perdida} = Volumen de agua perdido por fugas

Q_{residual} = Volumen de descargas de aguas residuales

$Q_{\text{tratamiento}}$ = Volumen de agua residual tratada para su re-uso

Q_{desalojo} = Volumen de agua desalojado.

La ecuación anterior será transformada a nivel sectorial para identificar las curvas de oferta y demanda de agua para tres elementos estratégicos para la RHA I. El primero tiene que ver con la valoración para usuarios domésticos. La segunda será a nivel de uso agrícola. La última tiene que ver con el sector servicios, con énfasis particular en turismo. Para el estudio del impacto social del valor futuro del agua se analiza el impacto que tiene el gasto en agua sobre el ingreso. Para este fin se utilizan los datos de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH) y se estima el porcentaje del ingreso destinado al consumo de agua: potable y embotellada. Dichos resultados son representativos a nivel nacional. A manera informativa también se estimará el impacto a nivel entidad federativa utilizando los microdatos de la ENIGH. Los resultados de ese análisis serán únicamente informativos debido a que el marco

muestral de la encuesta no es auto-representativo para las entidades federativas de la región de estudio. De manera paralela se estimará el grado de carencias sociales a nivel municipal con distinción entre lo rural y lo urbano. La construcción de un indicador de carencias sociales ayudará a ilustrar un impacto diferenciado entre aquellas zonas donde las condiciones sociales incrementan la sensibilidad ante aumentos en el precio del agua o ante reducciones al volumen de agua suministrada. La cuarta etapa del proyecto analiza las alternativas para la creación de una gestión integral del agua en la península de Baja California. El proyecto considera una gama de alternativas de gestión adaptativa con base en los resultados en las etapas anteriores del proyecto y las experiencias internacionales recientes de gestión integral del agua. Es importante resaltar que el proyecto considera la adaptación al cambio climático como un proceso de aprendizaje y no un producto final (Hinkel, Bisaro, & Downing, 2009; Hofmann, Hinkel, & Wrobel, 2011; Hulme, Neufeldt, & Colyer, 2009; UN-HABITAT, 2014).

El proyecto reconoce, como lo menciona Huntjens et al., (2008) que la generación de conocimiento es necesaria pero no suficiente para desarrollar una mejor capacidad adaptativa en los sistemas socio-económicos ante un mundo en cambio continuo. Ridder & Pahl-Wostl (2005) sugieren que un proceso colaborativo en la toma de decisiones favorece una gestión adaptativa del agua capaz de incorporar ciclos de aprendizaje basados en un enfoque de gestión integral. En la quinta etapa del proyecto se establecen las bases para construir un proceso de aprendizaje en la gestión integral del agua que permita incorporar las lecciones aprendidas en su futura puesta en práctica como parte del proceso de aprendizaje. Esto se integrará en un reporte final con los resultados del proyecto, así como una síntesis ejecutiva la cual será insumo para la Sexta Comunicación Nacional de Cambio Climático.

En esta etapa se entregarán todas las bases de datos, el Sistema de Información Geográfica, y los documentos metodológicos que dan sustento al proyecto. El conjunto de resultados de las cinco etapas de trabajo del proyecto, permiten la construcción de esquemas operativos multidimensionales de gestión integral del agua que faciliten la construcción de mejores respuestas al cambio climático. Son un insumo para los planes estatales y municipales de acción climática y para los planes estatales y locales de desarrollo. Los resultados contribuyen también a la creación de capacidades para la adaptación al cambio climático a nivel local y

estatal y a la creación de precedentes útiles a otras partes del territorio nacional en un sector esencial para el bienestar social y el crecimiento económico actual y futuro en el país.

1.5. Bases de información

Este proyecto utilizó fuentes de información oficial, las cuales tienen una diversidad de variables e indicadores que son de utilidad para el diagnóstico de la situación de los recursos de agua, su manejo actual, así como para el análisis de vulnerabilidad actual y futura de los mismos. La tabla 2 muestra los indicadores base del proyecto.

Tabla 2. Variables e indicadores base

Variable	Periodo	Indicadores	Autor	Fuente
Población	1990-2015	Habitantes, Viviendas Particulares habitadas, otros 1990-2015	INEGI	INEGI. XI Censo general de población y vivienda 1990-2010
PIB Estatal	2003-2015	Producto Interno Bruto	INEGI	INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.
Plantas potabilizadoras		Capacidad Instalada, Caudal Potabilizado (Litros por segundo)	CONAGUA	Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización
Plantas de tratamiento de aguas residuales		Capacidad Instalada, Caudal Tratado (Litros por segundo)	CONAGUA	Inventario Nacional de Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación
Playas Limpias Baja California	2013	Playa, Fechas de muestreo (enero y febrero 2013)	SEMARNAT	Programa de Playas Limpias: SEMARNAT
Playas Limpias Baja California Sur	2013	Playa, Fechas de muestreo (enero y febrero 2013)	SEMARNAT	Programa de Playas Limpias: SEMARNAT
Disponibilidad por acuífero	2015	Acuífero, Disponibilidad, Recarga, DNCOM (Cifras en millones de metros cúbicos anuales)	CONAGUA	Programas y acciones: CONAGUA
Aguas Nacionales	2017	AGUAS SUPERFICIALES, AGUAS SUBTERRÁNEAS (Volumen de extracción concesionado m ³ /año)	CONAGUA	http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190
Descargas de Aguas Residuales	2017	Volumen de descarga concesionado m ³ /año	CONAGUA	http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190
Zonas Federales	2017	Superficie concesionada m ²	CONAGUA	http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190
Extracción de Materiales	2017	Volumen concesionado m ³	CONAGUA	http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190

Variable	Periodo	Indicadores	Autor	Fuente
Volumen total de agua subterránea concesionada	2000-2015	Volumen de agua subterránea (hm ³)	SEMARNAT	http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Disponibilidad/volumen%20total%20concesionado%20de%20agua%20subterránea.csv
Acuíferos	2003-2013	Número de acuíferos, 2003-2015	SEMARNAT	http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Disponibilidad/Acuiferos%20sobre%20explotados.csv
Capacidad de almacenamiento	1920-2015	Número presas, Capacidad de almacenamiento total acumulada al año (hm ³)	SEMARNAT	http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Disponibilidad/almacenamiento%20en%20presas%20principales.csv
Anexo técnico APAUR	2016	Fuente de financiamiento, Ejecutor	CONAGUA	https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-federales-de-agua-potable-y-saneamiento?idiom=es
Anexo técnico APARURAL	2016	Fuente de financiamiento, Ejecutor	CONAGUA	https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-federales-de-agua-potable-y-saneamiento?idiom=es
Anexo técnico AAL	2016	Inversión Federal, Inversión Estatal	CONAGUA	https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-federales-de-agua-potable-y-saneamiento?idiom=es
Tecnificación de Riego Parcelario	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Riego de alta precisión	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Riego por aspersión	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Situación de Inodoros	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Nuevos Inodoros	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Regaderas Ahorradoras	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Llaves nuevas de bajo flujo	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Reparación de fugas	2010	Cantidad, Aportación a la Brecha, Inversión Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Inversiones por sector	2010	Impacto, Inversión	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Inversión requerida para ampliar la cobertura de agua potable en la población rural	2010	Población beneficiada, Costo Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf

Variable	Periodo	Indicadores	Autor	Fuente
Inversión requerida para ampliar la cobertura de agua potable en la población urbana	2010	Población beneficiada, Costo Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Inversión requerida para ampliar la cobertura de alcantarillado en zonas rurales	2010	Población beneficiada, Costo Total	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Inversión requerida para ampliar la cobertura de alcantarillado en zonas urbanas	2010		CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Inversiones por sector	2010	Impacto, Inversión	CONAGUA	http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
Acuíferos sobreexplotados	2012	Recarga, Extracción, sobreexplotación (hm ³ /año)	SEMARNAT	http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001769.pdf
Requerimientos de agua potable	2012	Demanda media, Cobertura, Eficiencia Física, Dotación, Volumen Tratado	SEMARNAT	http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001769.pdf
Captación, suministro y tratamiento de agua, personal ocupado total	2008	Personal ocupado dependiente de la razón social, Personal ocupado no dependiente de la razón social	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf
Captación, suministro y tratamiento de agua, total de ingresos	2008	Suministro de agua, Venta de agua tratada	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf
Captación, suministro y tratamiento de agua, volumen de agua extraída	2008	Mantos superficiales y agua en bloque, Mantos del subsuelo y agua en bloque	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf
Captación, suministro y tratamiento de agua, plantas potabilizadoras y de tratamiento	2008	Plantas potabilizadoras en operación, Plantas para tratamiento de aguas residuales en operación	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf
Cobertura de la población con servicio de agua potable	1990-2015	Porcentaje	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales
Suministro diario per cápita de agua para consumo humano	1996-2015	Litros por habitante al día	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales
Población con agua potable	1995-2015	Millones de habitantes	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales

Variable	Periodo	Indicadores	Autor	Fuente
Volumen de recarga media de acuíferos sobreexplotados	2001-2015	Volumen de recarga media, Volumen de extracción	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales
Volumen concesionado de agua superficial y subterránea para usos específicos	2005-2015	Fuente de abastecimiento superficial, Fuente de abastecimiento subterránea, subtipo de uso	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales
Plantas potabilizadoras en operación y gasto potabilizado	1996-2015	Número de Plantas en operación, Gasto potabilizado	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales
Número de municipios con sequía por entidad federativa y nivel de intensidad	2014-2017	Sequía severa, Sequía extrema	SEMARNAT	http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales
Información Climatológica	2017	Temperatura, Precipitación	SMN	http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica y de CLICOM http://clicom-mex.cicese.mx/
Porcentaje de área con sequía	2017	Anormalmente seco, sequía moderada, sequía severa, Sequía extrema, Sequía excepcional	SMN	http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico
Actividad económica	2009	Agricultura, Comercio, Industria manufacturera, Servicios	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ce/
Agotamiento de recursos naturales	2004-2010	Agua subterránea,	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/
Degradación del medio ambiente	2004-2010	Agua	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/
PIN Ecológico	2004-2010	Costos totales por agotamiento, Costos totales por degradación	INEGI	http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/
Producción agrícola de los distritos de riego	2013-2014	Superficie sembrada, Superficie cosechada	CONAGUA	http://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego

Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Adams, A., Moreno, J., & Lutz, A. (2012). *Agricultura y manejo sustentable del acuífero de la Costa de Hermosillo. región y sociedad*, (3).
<https://doi.org/10.22198/rys.2012.3.a411>
- Adger, N. (2006). *Vulnerability*. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Bhave, A., Mishra, A., & Raghuwanshi, N. (2014). *A combined bottom-up and top-down approach for assessment of climate change adaptation options*. *Journal of Hydrology*, 518, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.039>
- Bisaro, A., Hinkel, J., & Kranz, N. (2010). *Multilevel water, biodiversity and climate adaptation governance: Evaluating adaptive management in Lesotho*. *Environmental Science and Policy*, 13(7), 637–647. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.08.004>
- Castle, S., Thomas, B., Reager, J., Rodell, M., Swenson, S., & Famiglietti, J. (2014). *Groundwater depletion during drought threatens future water security of the Colorado River Basin*. *Geophysical Research Letters*, 41(16), 5904–5911.
<https://doi.org/10.1002/2014GL061055>
- CONAGUA. (s/f). *Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua*. Recuperado el 2 de febrero de 2017, a partir de
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/informacion-estadistica-62159>
- Constantino, R. (2016). *Prices and Water: A Strategy with Limited Effectiveness*. En Rosario Pérez, Roberto Constantino, & Hilda Dávila (Eds.), *Water, Food and Welfare. Water Footprint as a Complementary Approach to Water Management in Mexico* (pp. 59–72). Mosbach, Germany: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-28824-6_7
- CRID. (2009). *Catálogo de herramientas y recursos de información para el fortalecimiento de capacidades locales de respuesta*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de
<http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc17922/doc17922.htm>
- Daze, A., Ambrose, K., & Ehrhart, C. (2009). *Climate Vulnerability and Capacity Analysis*

- Handbook. Atlanta. Recuperado a partir de http://careclimatechange.org/files/adaptation/CARE_CVCAHandbook.pdf
- Füssel, H. (2007). *Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons*. *Sustainability Science*, 2(2), 265–275. <https://doi.org/10.1007/s11625-007-0032-y>
- Gleick, P. (1990). *Climate change, international rivers and international security: the Nile and the Colorado*. En T. J. Minger (Ed.), *Greenhouse glasnost: the crisis of global warming: essays* (pp. 147–165). New York: Ecco Press.
- Gleick, P., & Chalecki, E. (1999). *The impact of climate change for water resources of the Colorado and Sacramento-San Joaquin river basins*. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6), 1429–1441. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb04227.x>
- Gómez, E. (2013). *Valoración de las componentes del balance hídrico usando información estadística y geográfica: la cuenca del Valle de México*. *Revista Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 4(3). Recuperado a partir de http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE_10/RDE_10_Art1.html
- Hinkel, J., Bisaro, S., & Downing, T. (2009). *Learning to adapt. Narratives of decision makers adapting to climate change*. En H. Hulme, M., Neufeldt (Ed.), *Making climate change work for us: European perspectives on adaptation and mitigation strategies* (pp. 113–134). Cambridge, UK: Cambridge University Press. Recuperado a partir de https://scholar.google.com/scholar?cluster=1511855972350637700&hl=es&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Hofmann, M., Hinkel, J., & Wrobel, M. (2011). *Classifying knowledge on climate change impacts, adaptation, and vulnerability in Europe for informing adaptation research and decision-making: A conceptual meta-analysis*. *Global Environmental Change*, 21(3), 1106–1116. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.011>
- Hulme, M., Neufeldt, H., & Colyer, H. (eds). (2009). *Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy. The Final Report from the ADAM Project*. Norwich, UK. Recuperado a partir de

http://dcms.lwec.ulcc.ac.uk/sites/default/files/adam-final-report-revised-june-2009.html_.pdf

Huntjens, P., Pahl-Wostl, C., Rihoux, B., Flachner, Z., Neto, S., Koskova, R., ... Dickens, C. (2008). *The role of adaptive and integrated water management (AIWM) in developing climate change adaptation strategies for dealing with floods and droughts - A formal comparative analysis of eight water management regimes in Europe, Asia, and Africa*. Osnabrück, Germany. Recuperado a partir de <http://www.newater.uni-osnabrueck.de/index.php?view=folders&showPage=1063>

IFRC. (2008). *Análisis de vulnerabilidad y capacidad. Caja de herramientas con fichas de referencia*. Ginebra, Suiza. Recuperado a partir de <http://www.ifrc.org/Global/Publications/disasters/vca/vca-toolbox-es.PDF>

IFRC. (2009). *Climate Change Adaptation Strategies for Local Impact. Key Messages for UNFCCC Negotiators*. Geneva, Switzerland. Recuperado a partir de <http://unfccc.int/resource/docs/2009/smsn/igo/054.pdf>

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Nature (Vol. 446). Ginebra, Suiza. <https://doi.org/10.1038/446727a>

Jha, A. K. ., Miner, T. W., & Stanton, Z. (2013). *Building urban resilience: principles, tools, and practice (Directions)*. Washington DC: World Bank. Recuperado a partir de <http://documents.worldbank.org/curated/en/320741468036883799/Building-urban-resilience-principles-tools-and-practice>

Jiménez, B., Oki, T., Arnell, N., Benito, G., Cogley, J., Doñil, P., ... Mwakalila, S. (2014). *Freshwater resources*. En T. E. B. [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, S. M. M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, & and L. L. W. P.R. Mastrandrea (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change* (p. XXX-YYY). Cambridge, UK and New

York, USA: Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.008>

Kopytkovskiy, M., Geza, M., & McCray, J. (2015). Climate-change impacts on water resources and hydropower potential in the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 473–493.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.014>

Lempert, R., & Groves, D. (2010). Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 960–974.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.007>

McNeill, D. (1998). Water as an economic good. *Natural Resources Forum*, 22(4), 253–261. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1998.tb00735.x>

Medema, J., & Jeffrey, P. (2005). IWRM and Adaptive Management: Synergy or Conflict? *Newater* (Vol. NeWater Re). <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.002>

Monreal, R., Castillo, J., Rangel, M., Morales, M., Oroz, L., & Valenzuela, H. (2001). La intrusión salina en el acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora. En J. Corona-Esquivel, R y Gómez-Godoy (Ed.), *Acta de Sesiones de la XXIV Convencion Internacional de la Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geologos de Mexico A.C.* (pp. 93–98). Acapulco Guerrero. Recuperado a partir de

http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/monreal/curriculum_vitaeMonreal.htm

Morales, E. (2012). La gestión adaptativa del agua ante un contexto de variabilidad y cambio climático: un enfoque operativo. *El Colegio de la Frontera Norte, A.C.* Recuperado a partir de <https://www.colef.mx/posgrado/?tesis=la-gestion-adaptativa-del-agua-ante-un-contexto-de-variabilidad-y-cambio-climatico-un-enfoque-operativo>

Moreno, J. (2006). *Por abajo del agua: sobreexplotacion y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005.* Hermosillo, Sonora: El Colegio de Sonora.

<https://doi.org/9686755551>

Nagourney, A., Healy, J., & Schwartz, N. (2015). *California drought tests history of endless*

growth. *The New York Times*. Recuperado a partir de <https://www.nytimes.com/2015/04/05/us/california-drought-tests-history-of-endless-growth.html>

Pahl-Wostl, C. (2006). *Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change*. *Water Resources Management*, 21(1), 49–62.

<https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4>

Pérez, R., Constantino, R., & Dávila, H. (2016). *Introduction and structure of the book*. En R. Pérez-Espejo, R. M. Constantino-Toto, & H. R. Dávila-Ibáñez (Eds.), *Water, Food and Welfare. Water Footprint as a Complementary Approach to Water Management in Mexico* (pp. xiii–xvii). Mosbach, Germany: Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-28824-6_7

Perry, C., Rock, M., & Seckler, D. (1997). *Water as an Economic Good: A Solution, or a Problem? Management*, v-pp. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3910/2009.014>

Pingale, S., Jat, M., & Khare, D. (2014). *Integrated urban water management modelling under climate change scenarios*. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 176–189.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.006>

Presidencia de la República. (2014a). *Programa Nacional de Infraestructura 2014 Análisis y oportunidades*. D.F., México. Recuperado a partir de

<http://www.gob.mx/presidencia/acciones-y-programas/programa-nacional-de-infraestructura-2014-2018>

Presidencia de la República. (2014b). *Programa Nacional Hídrico 2014–2018*. D.F.

Recuperado a partir de

http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PROGRAMA_Nacional_Hidrico_2014_2018.pdf

Ridder, D., & Pahl-Wostl, C. (2005). *Participatory Integrated Assessment in local level planning*. *Regional Environmental Change*, 5(4), 188–196.

<https://doi.org/10.1007/s10113-004-0089-4>

Rogers, P., & Huber, A. (1998). *Water as a Social and Economic Good: How to Put the Principle into Practice*. *Global Water Partnership Technical Advisory Committee TAC*

(Vol. 2). <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e06ef8>

SEDATU. (2014). *Programa Regional para el Desarrollo del Norte 2014-2018*. D.F, México.

Recuperado a partir de

<http://www.sedatu.gob.mx/sraweb/datastore/programas/2014/PRDNorte/PRDNo rte25042014.pdf>

Troyo, E., Cruz, A., Norzagaray, M., Beltrán, L., Murillo, B., Beltrán, F., ... Valdez, R. (2010).

Agotamiento hidro-agrícola a partir de la Revolución Verde: extracción de agua y gestión de la tecnología de riego en Baja California Sur, México. *Estudios Sociales*, 18(36), 177–201. Recuperado a partir de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-45572010000200008&script=sci_arttext&tlng=en

UN-HABITAT. (2014). *Planning for climate change: Guide – A strategic, values-based*

approach for urban planners. UN-HABITAT. Recuperado a partir de

<https://unhabitat.org/books/planning-for-climate-change-a-strategic-values-based-approach-for-urban-planners-cities-and-climate-change-initiative/>

UNDP. (2010). *Designing Climate Change Adaptation Initiatives*. A UNDP Toolkit for

Practitioners. United Nations Development Programme. Recuperado a partir de

https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/951013_Toolkit for Designing Climate Change Adaptation Initiatives.pdf

UNESCO. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for*

a Sustainable World. Paris, France. Recuperado a partir de

<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>

UNESCO. (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017*.

Wastewater: The Untapped Resource. Paris, France. Recuperado a partir de

<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>

USAID. (2007). *ADAPTING TO CLIMATE VARIABILITY AND CHANGE: A GUIDANCE*

MANUAL FOR DEVELOPMENT PLANNING. USAID. Recuperado a partir de

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadj990.pdf

Van der Zaag, P., & Savenije, H. (2006). *Water as an economic good: the value of pricing*

and the failure of markets. Value of Water Research Report Series. Delft, Netherlands.

Recuperado a partir de

http://waterfootprint.org/media/downloads/Report_19_Water_as_an_Econ_Good_1.pdf

WHO. (2006). Guidelines for Drinking-water Quality. Incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. World Health Organization (Vol. 1). World Health Organization. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)

WORLD BANK. (2011). Guide to climate change adaptation in cities: executive summary. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Recuperado a partir de <http://documents.worldbank.org/curated/en/211791468323118474/Guide-to-climate-change-adaptation-in-cities-executive-summary>

II. MARCO METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

2.1. Introducción

El objetivo de este documento es describir la metodología aplicada para el análisis de la vulnerabilidad y sus causas subyacentes. A continuación, se documentan los pasos seguidos en el análisis de la vulnerabilidad en el contexto de la adaptación al cambio climático. La definición de trabajo del concepto de vulnerabilidad más usada en el contexto del cambio climático es la propuesta por el IPCC en su Cuarto Reporte (IPCC, 2007), adoptada por la comunidad científica internacional que estudia el cambio climático y en guías metodológicas y materiales de apoyo a la planeación de la adaptación al cambio climático creadas por diversas organizaciones internacionales (UN-HABITAT, 2014; UNDP, 2010; UNISDR, 2012; USAID, 2007; WORLD BANK, 2011). Para el IPCC, la vulnerabilidad es 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 eventos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2007:89). Esta es la definición de trabajo usada en este proyecto para el análisis de vulnerabilidad de la gestión del agua en el contexto del cambio climático.

Es relevante destacar que el concepto de vulnerabilidad ha estado sujeto a una diversidad de interpretaciones durante las últimas dos décadas que pueden crear confusión y limitar los beneficios que se puede obtener de su uso (Adger, 2006; Brooks, 2003; Gallopín, 2006; Hinkel, 2008). La literatura internacional distingue la propuesta de diversos marcos conceptuales para el estudio de la vulnerabilidad (Brooks, 2003; Jones, 2001; Turner II et al., 2003). Uno de los elementos en común entre esa diversidad de enfoques es el reconocimiento de que la vulnerabilidad es específica para cada lugar y depende de su contexto (Blaikie, Cannon, Davis, & Wisner, 1994; Cutter, Boruff, & Shirley, 2003; Hinkel, 2011).

El análisis de la vulnerabilidad es una herramienta útil para diseñar estrategias de adaptación ante el cambio climático (Patt, Klein, & de la Vega-Leinert, 2005) y es un aspecto central en la Ley General de Cambio Climático, en la Estrategia Nacional de Cambio Climático 10-20-40 , además de su relación con la prevención y reducción del riesgo de desastres hidrometeorológicos y climáticos expresada en la Ley General de Protección Civil y su Reglamento , así como en el Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018 de México. Algunas limitantes en los enfoques tradicionales de adaptación al cambio climático tienen que ver con la incertidumbre, con las características mismas de las proyecciones a futuro, y con la dificultad para contabilizar las interacciones de los actores involucrados en una estrategia de adaptación adoptada (Bisaro, Hinkel, & Kranz, 2010).

La literatura internacional ha tenido importantes avances en el desarrollo conceptual de la vulnerabilidad, sin embargo, existen diversas interpretaciones metodológicas de cómo hacerla operativa, algunas de ellas contradictorias entre sí (Ionescu, Klein, Hinkel, Kavi Kumar, & Klein, 2005; Nguyen, Bonetti, Rogers, & Woodroffe, 2016; Tonmoy & El-Zein, 2013). Un número significativo de publicaciones se concentran en diversos aspectos conceptuales de la vulnerabilidad y su posible uso en diversos contextos. Pero pocas publicaciones tienen un referente empírico definiendo y analizando métodos específicos que validen la viabilidad y contribución de los aspectos conceptuales en el estudio de la vulnerabilidad (Hinkel, 2011).

La atención a los aspectos metodológicos en el estudio de la vulnerabilidad ha crecido en los últimos 10 años. Aspectos que destacar de esos estudios es que documentan la confusión que existe en la definición de variables para los tres elementos de la vulnerabilidad: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Hinkel, 2011; Tonmoy, El-Zein, & Hinkel, 2014). En un análisis del uso de métodos para el estudio de la vulnerabilidad en el contexto del cambio climático en más de 50 publicaciones, Nguyen et al. (2016), encuentran poca coherencia en el uso de variables. La misma variable fue usada por algunos autores para el estudio de la exposición mientras que otros la utilizan para describir sensibilidad. Una situación similar ocurre en el caso de la sensibilidad y la capacidad adaptativa, la misma variable es usada por algunos estudios para documentar sensibilidad mientras que en otros para estudiar capacidad adaptativa.

Otra discrepancia en el método para el estudio de la vulnerabilidad es la definición de pesos de los tres componentes, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Nguyen et al., 2016; Tonmoy et al., 2014). Varios estudios otorgan el mismo peso a cada uno de esos componentes sin una reflexión de su valor explicativo en el estudio de la vulnerabilidad. En nuestra experiencia, es importante que en el análisis de la vulnerabilidad se le de atención a identificar el peso de cada uno de los componentes en el índice compuesto de la vulnerabilidad de acuerdo con las características contextuales de cada caso de estudio, sugerimos que la distribución de pesos se realice con base en los juicios de expertos, siguiendo el método utilizado en otros estudios que identifiquen los procesos que más inciden en cada dimensión de la vulnerabilidad. En la definición de pesos también se tomó en cuenta la calidad explicativa de la información disponible para el análisis.

Asociado a la discusión de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad es relevante mencionar que algunos autores han señalado la utilidad de incorporar otros elementos analíticos al concepto de vulnerabilidad. Hinkel (2011), menciona la evidencia de daño asociada a un evento climático como un elemento adicional a la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, que fortalece el análisis de vulnerabilidad del sistema en estudio. La evidencia de daño es un elemento que ayuda también a identificar el peso de los otros tres componentes, en particular de la exposición en el estudio de la vulnerabilidad (Sánchez Rodríguez & Morales Santos, 2018). Este proyecto incorpora esa modificación al marco conceptual y considera el análisis de la vulnerabilidad en función de cuatro componentes: exposición, evidencia de daño, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Existen también discrepancias de cómo integrar los elementos de la vulnerabilidad en la definición de un índice de vulnerabilidad (Nguyen et al., 2016). El enfoque más frecuente es sumar exposición y sensibilidad y restar capacidad adaptativa, aunque algunos autores multiplican exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Otro aspecto relevante por considerar es que el uso del concepto de vulnerabilidad se ha llevado a cabo sin una reflexión de la capacidad del concepto para obtener resultados deseados en su uso y de su vínculo con los objetivos de desarrollo. El estudio de la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático es un instrumento útil para la planeación del desarrollo sostenible, la prevención y la reducción del riesgo a desastres y la planeación de la adaptación al cambio climático. Pero es importante

recordar que la vulnerabilidad es específica en el tiempo y en el espacio geográfico a un evento determinado. El estudio de la vulnerabilidad permite identificar a la población que puede ser afectada por los impactos negativos del clima, las condiciones que las hacen vulnerable, y las posibles consecuencias de ese estado. Esto ayuda a identificar con mayor precisión posibles acciones para reducir la vulnerabilidad a las consecuencias negativas de los impactos climáticos y a crear elementos para la construcción de un proceso de adaptación.

De igual forma, es importante recordar que el diseño en el estudio de la vulnerabilidad depende de la escala del tema en que se realizará el estudio. La capacidad explicativa de las variables varía de acuerdo a la escala de análisis (Hinkel, 2011), por esta razón un análisis de vulnerabilidad a nivel local es diferente a uno realizado a nivel regional o a nivel nacional. El diseño metodológico para el estudio de la vulnerabilidad debe reflejar esas diferencias. La selección de variables para el análisis de la vulnerabilidad va a depender de la escala geográfica en que se realiza el análisis, del tipo de datos disponibles y de su calidad, y del objeto de estudio. En el caso de este proyecto, el objeto de estudio es la gestión del agua en el contexto del cambio climático.

2.2. Esquema metodológico para el análisis de la vulnerabilidad actual

Arriba mencionamos que la propuesta metodológica de este proyecto parte de la definición de vulnerabilidad del IPCC (2007), que la define como una función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. Formalmente:

$$V = f(E, S, C)$$

Donde, 'V' es la vulnerabilidad, 'E' es la exposición, 'S' la sensibilidad y 'C' la capacidad adaptativa. Esa forma funcional se transformó al considerar una dimensión explicativa adicional, esto es la evidencia de daños 'D' (Hinkel, 2011; Sánchez Rodríguez & Morales Santos, 2018), tal que:

$$V = f(E, S, C, D)$$

Exposición, sensibilidad y evidencia de daños se representan con un signo positivo debido a que aumentan la vulnerabilidad. Por su parte, la capacidad adaptativa es una dimensión que disminuye la vulnerabilidad por lo que se le asigna un signo negativo: en la medida en que C es menor, su contribución a disminuir la vulnerabilidad también es menor. Cada dimensión tiene un peso diferenciado 'w' atribuido a través del juicio de experto, como lo muestra la ecuación siguiente:

$$V_{ij} = w * E_{ij} + w * S_{ij} - w * C_{ij} + w * D_{ij}$$

Donde V_{ij} es la vulnerabilidad del 'i-esimo' municipio al impacto 'j', E_{ij} es la exposición del 'i-esimo' municipio al impacto 'j', C_{ij} es la capacidad adaptativa del 'i-esimo' municipio al impacto 'j', y D_{ij} es la evidencia de daños 'i-esimo' del municipio asociada al impacto 'j'. La distribución de pesos 'w' sólo es indicativa en la ecuación.

Es relevante señalar que las variables que componen cada dimensión de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y evidencia de daño) se agregaron a manera de ranking 'R' cuyos valores van entre 0 y 1 de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$R_{ij} = \frac{r_0 - r_{vmin}}{r_{vmax} - r_{vmin}}$$

Donde, R_{ij} es la posición del 'i-ésimo' municipio respecto al impacto 'j', r_0 es el valor de referencia de cada municipio, r_{vmin} es el valor mínimo de la suma de variables que componen cada dimensión, mientras que r_{vmax} es el valor máximo de la suma de variables para cada dimensión. Esto implica que cada componente es un índice independiente, el cual posiciona a cada uno de los 10 municipios de la Península de Baja California desde el valor de vulnerabilidad más alto (valor 1) hasta el más bajo (valor 0). El valor de vulnerabilidad corresponde a cada ranking multiplicado por el peso asignado a cada dimensión. Tal como lo muestra la ecuación: $V_{ij} = \sum_{i=1}^4 R_{ij} * w$, donde, V_{ij} es la vulnerabilidad del 'i-ésimo' municipio ante el impacto 'j', R_{ij} es el ranking de vulnerabilidad en cada dimensión multiplicado por el peso asignado 'w'. El valor obtenido se representa nuevamente en un ranking que va de 0-1. Para la representación geográfica de cada índice se usa el método "natural breaks" a través del programa ARCGIS, el cual divide la información en cinco clases: bajo; medio bajo; medio; medio alto; alto.

Abajo se describe los pasos seguidos en el análisis de cada dimensión del índice de vulnerabilidad.

2.3. Índice de exposición

El análisis de la exposición identifica las variables que mejor caracterizan los estresores externos al sistema en el nivel regional. Para el tema específico de este proyecto se seleccionaron variables de las tendencias históricas del clima, la temperatura y la precipitación para la Península de Baja California, así como de la persistencia en las condiciones de sequía. Esos registros son particularmente importantes para identificar las principales amenazas a las que está expuesta la región y son relevantes para el estudio de la gestión del agua en el contexto de cambio climático. En particular se busca documentar el aumento en las temperaturas extremas (máxima y mínima), la incidencia de eventos hidrometeorológicos extremos y la persistencia en la ocurrencia de sequía.

La información se obtuvo de dos fuentes principales. Los datos de sequía provienen del Monitor de Sequía Multivariado en México (MoSeMM) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Mientras que los de datos climáticos se obtuvieron del CLICOM, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a través de su plataforma web del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Para la representación de las tendencias del clima se seleccionó una estación meteorológica por municipio, cada estación es la que presenta el registro de datos con mayor número de observaciones. A cada estación meteorológica se le realizó un análisis de calidad de la información a través de "RclimDex" el cual se ejecuta con "R", ambos softwares de acceso gratuito.

La revisión de la información climática se realizó en tres momentos. Primero se describen las normales climatológicas para temperatura (máxima, mínima y promedio), así como para precipitación. En segundo lugar, se construyeron las frecuencias anuales de observaciones cuyo valor es superior a la media aritmética de esos datos para las temperaturas máximas y mínimas; esos valores se construyeron teniendo en cuenta que las temperaturas varían de manera estacional sobre todo durante el verano y el invierno. El indicador elaborado es el porcentaje de datos anuales que superan el promedio histórico mensual. El tercer momento

corresponde a la ocurrencia de sequía. El MoSeMM presenta el porcentaje de la superficie municipal con algún tipo de sequía (anormalmente seco D0, moderada D1, severa D2, extrema D3, excepcional D4), cada municipio puede presentar más de un tipo de sequía. Con esa información se creó un índice compuesto. Finalmente se agrega toda la información para conformar el índice de exposición. El índice de exposición agrega la información de las tendencias en la temperatura, la ocurrencia de sequía y la precipitación. En el desarrollo del índice las variables se les dio el mismo peso puesto que todas están expresadas en un ranking entre 0 y 1 por ello se agregan. Con el nuevo valor se construye nuevamente un ranking que prioriza los municipios con valores que van de 0 a 1, a partir de la ecuación siguiente:

$$R = \frac{S_i - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}$$

Donde (S_i) es el valor de la suma de temperatura, sequía y precipitación del i -ésimo municipio, (S_{min}) es el valor S mínimo del total de municipios, y (S_{max}) es el valor S máximo.

2.4. Índice de sensibilidad

Para el análisis de la sensibilidad se seleccionaron cuatro diferentes dimensiones: la población, los sistemas económicos, los ecosistemas y la dimensión física del agua. Para la sensibilidad en la población se seleccionaron variables con mayor valor explicativo de carencias sociales que inciden en el acceso al agua en la población, se hace un énfasis particular en los grupos de menores ingreso. En el caso de la sensibilidad de los sistemas económicos se usaron variables que identifican el grado de dependencia al agua de las principales actividades económicas en la región. Para el caso de los ecosistemas, se construyó un indicador a partir de la localización de los sitios de valor ecológico de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), los sitios Ramsar, con respecto a las zonas clasificadas como reservas de agua estratégicas (valor alto y medio) por la CONAGUA. La dimensión física de la sensibilidad se construyó a partir de los indicadores de la calidad de agua, la sobreexplotación de los acuíferos y el déficit de agua sustentable estimado por la CONAGUA.

El conjunto de estas variables define la sensibilidad de cada municipio como parte del análisis de la vulnerabilidad en la gestión integral y sustentable del agua en el contexto del cambio climático en la región.

2.4.1 Sensibilidad de la población

El estudio de la sensibilidad de la población privilegia el uso de estadística disponible en fuentes oficiales de información que ayudan a caracterizar la sensibilidad de los individuos y las comunidades a sufrir daños por eventos climáticos usando el nivel municipal como unidad analítica. La literatura internacional identifica en el diagnóstico de la vulnerabilidad social variables que caracterizan carencias sociales. Entre las contribuciones relevantes destacan las realizadas por un grupo de antropólogos y geógrafos hace cerca de tres décadas (Adger, 1999; Adger et al., 2007; Cutter, 1996; Cutter & Finch, 2008). Esas contribuciones distinguen que, si bien con frecuencia las personas vulnerables a eventos extremos son pobres, no todos los pobres son vulnerables ni todas las personas vulnerables son pobres (Blaikie et al., 1994).

Nuestro análisis de la sensibilidad ayuda a ilustrar carencias sociales que condicionan la capacidad de sobreponerse o evitar los impactos de un evento perturbador en personas o comunidades. El nivel de análisis de este proyecto a nivel municipal condiciona el número y tipo de variables que pueden ser usadas para el estudio de la sensibilidad. El contexto social en México hace relevantes las carencias sociales asociadas con la pobreza y la marginación. Por ello exploramos tanto el índice de marginación del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y la Medición Multidimensional de la pobreza en México, del Consejo Nacional de Evaluación de Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2017).

El índice de marginación no resultó relevante para las condiciones particulares de los municipios de la Península de Baja California dado que sus valores son altos comparados con los valores de municipios en otras partes de México, es decir, el grado de marginación en los municipios de Baja California es muy bajo, mientras que en Baja California Sur en tres municipios es muy bajo y es bajo en los dos municipios restantes. La Medición Multidimensional de la pobreza en México, resultó ser una mejor fuente para el análisis de vulnerabilidad. Su información muestra niveles de pobreza y de pobreza moderada en todos los

municipios de la península y bajos niveles de pobreza extrema, con ligeras variaciones entre el período 2010-2015. El conjunto de las categorías de pobreza, pobreza moderada, y pobreza extrema, dejan ver que un porcentaje significativo de la población en la región se encuentra en esa condición y refleja carencias sociales. En este análisis utilizamos tres variables adicionales a las carencias sociales arriba mencionadas que nos ayudan a lograr una mejor caracterización de la sensibilidad de la población tomando el municipio como unidad de análisis: 1) el porcentaje de la población sin acceso a los servicios de salud, 2) el porcentaje de la población sin acceso a una vivienda de calidad y con espacios suficientes y 3) el porcentaje de la población sin acceso a servicios básicos en la vivienda (agua potable, drenaje sanitario y electricidad). La población que no tiene acceso a esos servicios aparece con un mayor valor de sensibilidad.

Para el tema de este proyecto validamos el uso de la variable de pobreza por carencias sociales como un indicador de menor acceso al agua, a través del análisis de la diferencia en el gasto en agua entre grupos sociales en México y en la PBC. Se estudió la tendencia observada a nivel nacional del gasto en agua potable como porcentaje del gasto total según deciles de ingreso corriente total (1989-2014). El análisis de la composición histórica del gasto en agua potable en México muestra que los deciles I - V son los que destinan mayor parte de su gasto a la adquisición de agua potable. En contraste, los deciles de mayor ingreso son los que tienen menor participación del gasto en agua potable sobre su gasto total. Los resultados de este análisis corroboran el enfoque del proyecto al considerar que los grupos de la población con mayores carencias sociales son los que mayor dificultad tienen para acceder al agua y, por tanto, los grupos de mayor sensibilidad en el análisis de vulnerabilidad de la gestión del agua en el contexto del cambio climático en la PBC.

En orden de priorizar las carencias sociales se tomó la diferencia entre el porcentaje de la población vulnerable por carencias sociales en 2015 con respecto a 2010. Posteriormente los valores se estandarizaron a valores “z” tal como lo muestra la ecuación siguiente:

$$Z = \frac{d - \bar{x}}{DE}$$

Donde, (d) es la diferencia en el porcentaje de población vulnerable por carencias sociales; (\bar{x}) es la media y (DE) es la desviación estándar de los datos. A partir de los valores z, se creó un ranking que prioriza los municipios de 0 a 1, a partir de la ecuación siguiente:

$$R = \frac{Z_i - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}}$$

Donde (zi) es el valor z del i-ésimo municipio, (zmin) es el valor z mínimo del total de municipios, y (zmax) es el valor z máximo.

2.4.2. Sensibilidad económica

El índice de sensibilidad en los sistemas económicos se realizó a partir del análisis de la dependencia del agua de las actividades económicas en la PBC. El análisis toma el contexto de esa dependencia en las actividades productivas. Para el análisis contextual se consideraron los siguientes indicadores: el volumen de agua concesionado en cada municipio dividido entre el número de unidades económicas. La dependencia económica total del agua considera la relación entre el uso público urbano del agua y otros usos económicos usando la información disponible de concesiones de agua de acuerdo con los datos de CONAGUA (2014) con el fin de distinguir entre el uso social y el uso productivo del agua. La dependencia total corresponde a la agregación lineal del número de veces que se usa el volumen urbano con respecto a los usos agrícola, industrial, y generación de electricidad.

A partir del valor de la dependencia total del agua se estandarizaron a valores “z” tal como lo muestra la ecuación siguiente:

$$Z = \frac{d - \bar{x}}{DE}$$

Donde, (d) es la dependencia total de agua; (\bar{x}) es la media y (DE) es la desviación estándar de los datos. A partir de los valores z, se creó un ranking que prioriza los municipios de 0 a 1, a partir de la ecuación siguiente:

$$R = \frac{Z_i - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}}$$

Donde (z_i) es el valor z del i -ésimo municipio, (z_{min}) es el valor z mínimo del total de municipios, y (z_{max}) es el valor z máximo.

2.4.3. Sensibilidad de los ecosistemas

El índice de sensibilidad de los ecosistemas se construyó a partir de la localización de los sitios de alto valor ecológico para la conservación definidos por la CONABIO y los sitios Ramsar en cada municipio de la PBC, con respecto a las zonas estratégicas de reserva de agua definidas por la CONAGUA (prioridad alta y media) en la PBC. Primero se sobrepusieron estas dos capas de información geográficas en el SIG del proyecto para identificar las áreas de coincidencia.

Los valores se asignaron de acuerdo con el grado de coincidencias entre esas dos capas de información con respecto a la zona urbana y el uso agrícola del agua; por ejemplo, una sobreposición directa del sitio de valor ecológico en una zona estratégica de reserva de agua representa un valor de 4 (el valor más alto), 3 cuando existe mayor distancia entre esos sitios y la zona urbana y/o el uso agrícola, 2 cuando la coincidencia es mínima, y 1 cuando no hay zonas de alto valor y/o de importancia para la conservación del agua. Para la elaboración del ranking de sensibilidad de los ecosistemas se normalizó a valores entre 0-1 el porcentaje de la superficie del municipio que corresponde a cada uno de los usos. Posteriormente, esos valores se multiplicaron por el ponderador, tal que: Mexicali y Mulegé reciben un valor de 4; Comondú, Los Cabos y Loreto un valor de 3; La Paz y Ensenada 2; Tijuana, Tecate y Rosarito un valor de 1.. Finalmente, se utilizó un ranking que va de 0 a 1 para clasificar a todos los municipios tal como lo muestra la ecuación siguiente:

$$R = \frac{z_i - z_{min}}{z_{max} - z_{min}}$$

Donde (z_i) es el valor z del i -ésimo municipio, (z_{min}) es el valor z mínimo del total de municipios, y (z_{max}) es el valor z máximo.

2.4.4. Sensibilidad física del agua

El análisis de la sensibilidad se complementa con información de la calidad del agua en los 10 municipios de la península, con información de los acuíferos sobreexplotados en cada municipio y el déficit de agua sustentable al 2030 definido por CONAGUA (2012) y discutido en el diagnóstico elaborado por este proyecto. El conjunto de esas variables refleja una mayor sensibilidad en los municipios con problemas en la dimensión física del agua (calidad, sobreexplotación y déficit esperado).

Los datos disponibles para la calidad del agua usados en el proyecto son DBO5, DQO y sólidos disueltos. Los datos usados para caracterizar los acuíferos sobreexplotados incluyen datos de problemas por intrusión salina, salinización de suelo, agua salobre y/o con presencia de coliformes fecales. Se distingue la intrusión salina debido a la explotación de los acuíferos excediendo su capacidad de recarga. Un tercer indicador físico en el estudio de la sensibilidad física del agua es la brecha en la oferta sustentable de agua estimada por CONAGUA (2012). El dato fue tomado directamente de la fuente original y la asignación de valor a este indicador se definió de acuerdo con la dimensión de la brecha hídrica creando 5 grupos a partir del método “natural breaks”.

La sensibilidad física del agua se compone de la agregación lineal de las tres variables descritas con anterioridad. En primer lugar, se obtuvo la superficie municipal (km²) con alguna problemática. En segundo lugar, se obtuvo el porcentaje de la brecha hídrica municipal con respecto a la brecha total de cada entidad federativa. En tercer lugar, se obtuvo el porcentaje de sitios de monitoreo que reportaron agua con algún grado de contaminación. Es importante señalar que previo a la agregación lineal, cada una de las variables se transformaron en un ranking que va de 0 a 1, posteriormente se agregaron y se hizo de nuevo un ranking que va de 0 a 1, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$R = \frac{r_i - r_{min}}{r_{max} - r_{min}}$$

Donde (r_i) es el valor r del i -ésimo municipio, (r_{min}) es el valor r mínimo del total de municipios, y (r_{max}) es el valor r máximo.

2.4.5. Índice compuesto de sensibilidad

El índice compuesto de sensibilidad se calculó con la suma de las variables arriba descritas. Los valores se presentan de 0 a 1 de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{v_i - v_{min}}{v_{max} - v_{min}}$$

Donde (v_i) es el valor z del i -ésimo municipio, (v_{min}) es el valor mínimo del total de municipios, y (v_{max}) es el valor máximo.

2.5. Capacidad Adaptativa

La selección de variables para el análisis de la capacidad adaptativa incluye la infraestructura relacionada a la gestión del agua existente, los aspectos institucionales los cuales son considerados a partir de la capacidad operativa de los organismos operadores de agua de los municipios en la PBC como factores endógenos.

El análisis incluyó cuatro variables: 1. Brecha operativa, la cual corresponde a la diferencia entre la dotación de agua menos el consumo ($l/h/d$); 2) costo de producción del agua (pesos por metro cúbico, $\$/m^3$), un menor costo por m^3 significa una mayor eficiencia en la producción de agua; 3) plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales (caudal potabilizado y tratado, l/s) y, 4) infraestructura para suministro de agua (número de presas y plantas desaladoras públicas). La brecha operativa se calculó a partir de la diferencia entre la dotación de agua ($l/h/d$) menos el consumo de agua ($l/h/d$) en cada municipio. Los valores más altos de esta variable ilustran los municipios con mayor brecha operativa y por tanto mayor capacidad operativa para enfrentar contingencias. El análisis de la capacidad adaptativa es el costo de la producción de agua entregado por el organismo operador.

Es el costo total del agua entre el volumen de agua total entregado (\$/m³). Un menor costo en la producción de agua refleja mayor eficacia operativa. El análisis de la capacidad adaptativa incorpora la infraestructura a través de la capacidad existente en potabilización de agua y tratamiento de drenaje sanitario. El cálculo toma en cuenta el porcentaje operativo de la capacidad instalada en las plantas potabilizadoras y de tratamiento que no es utilizado actualmente por los municipios. Los rangos altos en esta variable muestran un mayor porcentaje de la capacidad instalada que no es utilizado y por lo tanto una mayor capacidad para incrementar su suministro de agua sin costos adicionales, el no incurrir en costos adicionales en la construcción de infraestructura para el suministro de agua supone una mayor capacidad adaptativa.

Por último, la capacidad instalada en la gestión del agua a partir de las presas y plantas desaladoras en los municipios. Los valores se estimaron a partir de la capacidad del embalse de las presas, clasificándolas a partir de la mayor a la menor capacidad de las presas. Para el caso de las plantas desaladoras, se asignó un valor de 5 a las plantas ya existentes y 0 a aquellos municipios que no tienen capacidad instalada. El índice compuesto de la capacidad adaptativa se calculó con la suma de los valores de cada variable en cada municipio y se estandarizó en un raking que va de 0 a 1.

2.6. Evidencia de Daños

El análisis de evidencia de daños se basa en dos fuentes de información: las declaratorias de emergencias y de desastres compiladas por el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) para el período 2000-2015; información de fenómenos climáticos de importancia en los municipios de la PBC a través de una revisión hemerográfica de los principales diarios regionales y nacionales centrado en las notas de daños asociados a eventos climáticos en los municipios de la península en el período 2003-2017. El análisis de la información hemerográfica muestra ser un buen complemento contextual de la información del CENAPRED.

La información de los fenómenos que afectan la PBC muestra la importancia de complementar la información obtenida a través de una declaratoria de emergencia o desastre del Sistema Nacional de Protección Civil. Destaca el pequeño número de declaratorias con respecto al

número de fenómenos afectando a Baja California documentado por la revisión hemerográfica, 53 fenómenos de un total de 61 no tienen declaratoria emergencia, de desastre o ambas. Los fenómenos sin declaratoria incluyen en orden de importancia por el número total de fenómenos los incendios, la lluvia extrema, las altas y bajas temperaturas y los derrumbes asociados a la precipitación.

Para el cálculo del índice de evidencia de daño a nivel municipal comprende únicamente la frecuencia de esos daños. A partir de la ocurrencia de daños se estandarizaron a valores “z” tal como lo muestra la ecuación siguiente:

$$Z = \frac{d - \bar{x}}{DE}$$

Donde, (d) es la frecuencia de daños; (\bar{x}) es la media y (DE) es la desviación estándar de los datos. A partir de los valores z, se creó un ranking que prioriza los municipios de 0 a 1, a partir de la ecuación siguiente:

$$R = \frac{z_i - z_{min}}{z_{max} - z_{min}}$$

Donde (zi) es el valor z del i-ésimo municipio, (zmin) es el valor z mínimo del total de municipios, y (zmax) es el valor z máximo.

2.7. Índice Compuesto de Vulnerabilidad

Los cuatro componentes considerados en el análisis de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y evidencia de daños) ayudan a definir los municipios más vulnerables en la gestión del agua en el contexto del cambio climático, pero sobre todo ayudan a identificar las causas subyacentes de esa vulnerabilidad. En el cálculo del índice de vulnerabilidad se consideró que no todos los componentes tienen el mismo peso en su capacidad explicativa de ese concepto. El proyecto asignó diferentes pesos a cada componente de acuerdo con su capacidad explicativa de la vulnerabilidad a partir del juicio de expertos. La sensibilidad incluye variables físicas del agua y sensibilidad en el sistema social, en los sistemas económicos y en los ecosistemas y se le considera un análisis robusto que ayuda a entender muchas de las fuerzas subyacentes de la vulnerabilidad.

Por ello el proyecto le otorgó un peso de 0.4 en la estimación del índice compuesto de la vulnerabilidad. La capacidad adaptativa y la exposición cuentan con una menor capacidad explicativa de la vulnerabilidad comparada con la sensibilidad por lo que se les otorgó un peso de 0.25 en la estimación del índice compuesto de la vulnerabilidad. Una diferencia entre esos componentes es que la sensibilidad considera variables robustas en el análisis de la situación actual mientras que capacidad adaptativa y exposición incluye variables de tendencias a futuro y recursos potenciales. Por último, se consideró que la evidencia de daño ayuda a entender la situación actual de la vulnerabilidad, pero tiene una menor capacidad explicativa de la vulnerabilidad comparada con los otros componentes por lo que se le otorgó un peso de 0.10.

Vale la pena recordar que la exposición, sensibilidad y evidencia de daños se representan con un signo positivo debido a que aumentan la vulnerabilidad, mientras que la capacidad adaptativa la disminuye por lo que su signo es negativo. Cada dimensión tiene un peso diferenciado 'w' atribuido a través del juicio de experto, como lo muestra la ecuación siguiente:

$$V_{ij} = w * E_{ij} + w * S_{ij} - w * C_{ij} + w * D_{ij}$$

Donde V_{ij} es la vulnerabilidad de la 'i-esimo' municipio al impacto 'j', E_{ij} es la exposición del 'i-esimo' municipio al impacto 'j', C_{ij} es la capacidad adaptativa del 'i-esimo' municipio al impacto 'j', y D_{ij} es la evidencia de daños 'i-esimo' del municipio asociada al impacto 'j'. La distribución de pesos 'w' sólo es indicativa en la ecuación. También es relevante recordar que las variables que componen cada dimensión de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y evidencia de daño) se agregaron a manera de ranking 'R' cuyos valores van entre 0 y 1 de acuerdo con la ecuación siguiente: $R_{ij} = \frac{r_0 - r_{vmin}}{r_{vmax} - r_{vmin}}$, donde, R_{ij} es la posición del 'i-ésimo' municipio respecto al impacto 'j', r_0 es el valor de referencia de cada municipio, r_{vmin} es el valor mínimo de la suma de variables que componen cada dimensión, mientras que r_{vmax} es el valor máximo de la suma de variables para cada dimensión.

Esto implica que cada componente es un índice independiente, el cual posiciona a cada uno de los 10 municipios de la Península de Baja California desde el más expuesto/sensible/dañado/capaz (valor 1) hasta el menos expuesto/sensible/dañado/capaz (valor 0).

El valor de vulnerabilidad corresponde a cada ranking multiplicado por el peso asignado a cada dimensión. Tal como lo muestra la ecuación: $V_{ij} = \sum_{i=1}^4 R_{ij} * w$, donde, V_{ij} es la vulnerabilidad del 'i-ésimo' municipio ante el impacto 'j', R_{ij} es el ranking de vulnerabilidad en cada dimensión multiplicado por el peso asignado 'w'. El valor obtenido se representa nuevamente en un ranking que va de 0-1. Para la representación geográfica de cada índice se usa el método "natural breaks" a través del programa ARCGIS, el cual divide la información en cinco clases: bajo; medio bajo; medio; medio alto; alto.

2.8. Análisis de la Vulnerabilidad Futura

El análisis de la vulnerabilidad futura parte del estudio de los escenarios de cambio climático. Este proyecto utilizó los escenarios desarrollados por el Instituto de Ecología y Cambio Climático en el marco de la Sexta Comunicación Nacional que México prepara para la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. Se realizó un análisis espacial de los escenarios de cambio climático para la Península de Baja California generados con una resolución espacial de 0.5x0.5o de latitud y longitud, para las variables de temperatura (máxima, mínima y promedio) y precipitación, a partir de los Modelos de Circulación General HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, con trayectorias representativas de concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés) 4.5 y 8.5 de forzamiento radiativo (expresando en W/m²), para los horizontes donde se alcance un incremento de 1oC, 1.5oC y 2oC de temperatura media global. El análisis realizado representa recortes espaciales de esos escenarios para la Península de Baja California y no una regionalización de estos. En este sentido, los resultados son indicativos de las anomalías esperadas en las variables de precipitación y temperatura (promedio, máxima y mínima) derivadas de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, forzados con los RCP4.5 y RCP8.5 para los horizontes 2030, 2041 y 2051.

Las proyecciones de cambio en la precipitación y la temperatura para la Península de Baja California se procesaron con el software ARCGIS. El análisis de la vulnerabilidad futura se realizó en 3 pasos. En el primero, se convirtieron las capas de ráster a capas de puntos para obtener la tabla de atributos y valores de temperatura y precipitación para los doce meses que

integran las proyecciones de cambio climático; se identificó espacialmente a qué entidad federativa y municipio correspondía cada punto y se agregó esa información a la tabla de atributos para calcular valores promedio en cada municipio. Los datos se importaron a Access para generar tablas dinámicas con las cuales se obtuvieron los promedios anuales de las anomalías de temperatura máxima y mínima, así como la de precipitación a nivel municipal y entidad federativa. En el segundo, el proyecto sobrepuso la capa de resultados de los escenarios de cambio climático a la capa de resultados del análisis de vulnerabilidad actual a nivel municipal. Para ello se usaron tres variables: incrementos de temperatura máxima y mínima, precipitación.

Para la temperatura (máxima y mínima), se asignó un valor de 1 cuando el incremento de la temperatura promedio es menor o igual a 1oC, un valor de 2 cuando el incremento de la temperatura media es mayor a 1oC, pero menor o igual a 1.5oC, y un valor de 3 cuando el incremento de la temperatura media es superior a 1.5oC. Para la precipitación se asignó un valor de 1 cuando existe un incremento en la precipitación promedio, un valor de 2 cuando es un decremento medio entre -0.001 y -.05 mm, y un valor de tres al resto de los decrementos. El proyecto creó tres tablas resumiendo los valores, una con los resultados de las tres variables arriba mencionadas de los escenarios de cambio climático para cada modelo y cada horizonte y RCP en cada municipio. La segunda tabla tiene la misma estructura que la anterior, pero presenta los valores asignados a esos resultados de acuerdo con el criterio arriba mencionado para ser considerado en el análisis de la vulnerabilidad futura.

La tercera tabla presenta la suma de los valores de las tres variables para ambos modelos, RCP 4.5 y 8.5 en cada municipio y los valores que resultaron de la vulnerabilidad actual. El análisis toma como mapa base la vulnerabilidad actual y se sobrepone una capa con los resultados de los escenarios del cambio climático para el horizonte 2030 a partir de un ranking que cuya escala es: 3-4 (decrece), 5-6 (se mantiene) y 7-9 (crece); así el menor valor posible del ranking es tres, el cual corresponde a la suma de las variables de temperatura mínima (1) y máxima (1), y precipitación (1); mientras que el valor máximo posible es nueve: temperatura mínima (3) y máxima (3), y precipitación (3). En un segundo paso del análisis de la vulnerabilidad futura se incluyeron los resultados del análisis del valor futuro del agua. Para el valor futuro del agua, se proyectó el valor de producción de agua por m³ asignando un valor de

3 al municipio con el valor más alto, un valor de 2 al segundo valor más alto. El resto de los municipios presentan poco cambio en sus valores futuros del agua por lo que se les asignó un valor de 1. El análisis de posibles impactos sociales incluyó un esfuerzo por documentar posibles impactos en la salud. En el marco de este proyecto se exploró la posible existencia de una relación estadística entre el volumen de agua purificada y la incidencia en la salud de las personas a través de los datos de morbilidad y mortalidad derivados de enfermedades gastrointestinales; sin embargo, la información disponible no permitió encontrar una relación estadística en ese sentido. El proyecto analizó el posible impacto social a partir del ingreso, es decir la proporción del ingreso que diversos grupos sociales gastan en tener acceso a agua.

Para ello se analizó el gasto en agua potable como porcentaje del gasto total según deciles de ingreso (2004 y 2014), y la proyección de ese gasto a 2030 en la Península de Baja California. Debido a que este análisis fue estimado a nivel regional y no municipal se usó como proxy el tamaño de la población de los municipios proyectada a 2030 (mayor población, mayor número de personas en los deciles de bajo ingreso). Por ello se asignó un valor de 3 a los municipios que concentran la mayor población (500,001 – 2,100,000 habitantes), un valor de 2 para los de población media (111,001 – 500,000 habitantes) y un valor de 1 para los municipios con menor población (30,000 – 111,000 habitantes). El proyecto creó una tabla con el conjunto de los valores de las cinco variables usadas para estimar la vulnerabilidad futura. La adición de esos valores permitió conformar un índice cuya escala es: 5-8 (decrece), 9-11 (se mantiene) y 12-15 (crece).

Se crearon los mapas de vulnerabilidad futura para los dos modelos de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5) para el horizonte 2030. Se tomó el mapa base de la vulnerabilidad actual y se sobrepuso el valor de la vulnerabilidad futura que resulta de considerar las cinco variables arriba mencionadas. En el análisis de la vulnerabilidad futura se incluyeron sólo los datos de la proyección de la población total a 2030, que son los disponibles en CONAPO. Por lo tanto, no se incluyeron los horizontes 2041 y 2051. Como complemento del análisis de la vulnerabilidad futura arriba mencionado se realizó una serie de análisis complementarios que son explicativos sólo de manera contextual, es decir, no forman parte del índice de vulnerabilidad futura, pero ayudan a conocer mejor esa condición. En primer lugar, se estudió el comportamiento de la oferta y demanda agregadas de agua con el fin de entender cuáles serían las implicaciones de

una demanda excesiva de agua sobre la disponibilidad de agua y sus usos agrupados, este análisis se realizó a nivel nacional, península de Baja California y estados de Baja California y Baja California Sur. La curva de oferta agregada de agua corresponde al volumen total anual de agua renovable (AR) y la curva de oferta agregada corresponde al volumen total anual concesionado (VC). Los valores observados de agua AR y VC se recuperaron de las Estadísticas del Agua en México (EAM) ediciones 2001-2016, en ambos casos no existe una serie de tiempo lo suficientemente larga para hacer estimaciones más robustas (más de 30 observaciones), por lo que los resultados de las proyecciones al 2030, 2041 y 2051 que se realizaron son estadísticamente informativos no concluyentes. Se realizaron además las proyecciones del agua renovable (AR).

Para ello se obtuvo el promedio de la tasa de crecimiento del volumen reportado a nivel nacional, de la Región Hidrológica Administrativa I (RHAI) y entidad federativa, para los periodos 2000-2004, 2007-2010, 2011-2015, estos periodos se eligieron porque reportan valores similares al interior del grupo, pero diferentes de los otros grupos de años; así mismo, se incluyó la estimación de AR para el 2030 de las EAM edición 2016. Es importante señalar que las EAM reportan valores por entidad federativa únicamente en las ediciones 2015 y 2016. Los valores que presentamos a nivel de entidad federativa para el período 2000-2014, son estimados como la proporción promedio de lo que representó cada entidad respecto a total de la RHAI en 2014 y 2015: Baja California 60% y Baja California Sur 26%, nótese que la suma es menor al cien por ciento debido a que la RHAI incluye a San Luis Río Colorado.

Para las proyecciones del VC, las EAM presentan valores únicamente para el periodo 2007-2015 a nivel nacional, RHAI y por entidad federativa, no obstante, sólo se tienen datos consecutivos entre 2012-2015, por lo que se calcula el promedio de las tasas de crecimiento anual entre 2012 y 2015. La tasa de crecimiento anual se obtuvo con la ecuación siguiente:

$$r = \left[\left(\frac{V_f}{V_i} \right) - 1 \right] * 100$$
 donde r es la tasa de crecimiento, V_f es el valor en el último año y V_i es el valor en el año inicial. Es importante señalar que se usó el valor promedio de los periodos mencionados en orden de suavizar las variaciones anuales identificadas entre cada año reportado por las EAM. Las previsiones de AR a 2041 y 2051 se calcularon a partir de la ecuación siguiente $AR/VC^{t+n} = AR/VC^t(1+r)^n$, donde AR/VC^{t+n} es la proyección de agua renovable o del volumen total concesionado, AR/VC^t es el valor final del agua renovable o del

volumen concesionado, r es la tasa de crecimiento, y n es el número de años que se comprende entre el momento proyectado y el de referencia. Un complemento del análisis arriba descrito es el estudio de cómo los escenarios de cambio climático podrían modificar las proyecciones de oferta de agua per cápita, entendida como el volumen de agua renovable por habitante (ARh). Para ello se hizo una interpretación cualitativa de los resultados de los escenarios de cambio climático a partir del juicio de experto. Se utilizó una interpretación cualitativa porque no existe una serie de tiempo de al menos 30 años con observaciones mensuales sobre los cambios en el volumen de agua renovable, por lo tanto, es difícil establecer una asociación estadística robusta con las variables climáticas de temperatura y precipitación. En consecuencia, también es difícil inferir sobre los impactos asociados al cambio climático.

En un estudio reciente, Kopytkovskiy, Geza y McGray (2015) documentan los impactos del cambio climático en la cuenca del Río Colorado, encontrando que incrementos en la temperatura y decrementos en la precipitación conducen a reducciones en la disponibilidad de agua de hasta 70% del volumen de agua en la reserva artificial más grande de la cuenca (Blue Mesa Reservoir). En otro estudio, Christensen y Lettenmaier (2007) documentan también tendencias decrecientes en la escurrimiento de agua y lo asocian a incrementos en la temperatura y decrementos en la precipitación: bajo el escenario tendencial (A2), incrementos en la temperatura de aproximadamente 3-4 oF, en combinación con decrementos en la precipitación entre 1% y 2%, conducen a una reducción media en la escurrimiento del 11%; mientras que bajo el escenario B1, se proyectan incrementos en la temperatura media cercanos a 2.52 oF, en combinación con cambios en la precipitación entre -1% y -8%, conduciendo a decrementos en la escurrimiento de hasta 8%.

A la luz de la información arriba mencionada, la interpretación que hacemos en este proyecto de los escenarios de cambio climático del INECC (2016) en cuanto a la afectación en la disponibilidad de agua a futuro, va en el mismo sentido que los resultados de los estudios de Kopytkovskiy, Geza y Macgrey (2015) y Christensen y Lettenmaier (2007) en cuanto a las tendencias generales: incrementos en la temperatura media y decrementos en la precipitación.

Esto nos permite suponer que también conducirá a una reducción en la disponibilidad de agua en la Península de Baja California; sin embargo, está fuera de los alcances de este proyecto hacer una asociación estadística en el sentido de los estudios referidos con anterioridad. Por esta razón, sólo se realiza una interpretación cualitativa de las tendencias de decrecimiento en la disponibilidad de AR, con tres trayectorias posibles: bajo (2%), medio (5%) y alto (8%). Nótese que para el valor alto de decrecimiento de AR se tomó como referencia el estudio de Christenen y Lettenmaier (2007). Los escenarios de ARh se construyeron a través de un procedimiento de extrapolación simple aplicado al volumen de agua renovable (AR), mientras que no se altera el valor estimado de la población calculado por CONAPO.

Abundando a entender el contexto entre la disponibilidad de agua y las actividades productivas, se realizó además el estudio de posibles impactos económicos a partir de una reducción en el volumen concesionado total de agua según grandes usuarios. Se consideró la tendencia del Producto Interno Bruto (PIB) medido en millones de pesos a precios constantes de 2013 y del volumen total concesionado de agua (hm³/año). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) debido a que es un indicador de la fuerza con la que dos variables están linealmente relacionadas independientemente de su escala de medida; el valor absoluto del coeficiente oscila entre 0 y 1: cuando es un valor de uno se dice que las variables están perfectamente relacionadas de manera directa, en sentido estricto, “r” es negativo cuando la relación lineal es inversa.

El coeficiente de Pearson se calculó a partir de la siguiente ecuación: $r = \frac{SC_{xy}}{\sqrt{SC_x SC_y}}$, donde SC_{xy} es la covarianza de (x,y); SC_x es la desviación típica de (x), y SC_y es la desviación típica de (y). Es importante señalar que el valor de “r” no expresa causalidad, es decir, no se puede atribuir al incremento en el volumen concesionado como el causante del incremento en el PIB, pero sí se puede apreciar que ambos valores se mueven en el mismo sentido. Para hacer un análisis más robusto se tendría que utilizar, por ejemplo, una regresión lineal a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), sin embargo, no se dispone de una base de datos histórica de al menos 30 observaciones (del volumen total de agua concesionado) que permita utilizar ese método.

Referencias

- Adger, N. (1999). *Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam*. *World Development*, 27(2), 249–269. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00136-3)
- Adger, N. (2006). *Vulnerability*. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Adger, N., Agrawala, S., Conde, C., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B., ... E Hanson, C. (2007). *Assessment of Adaptation Practices, Options, Constraints and Capacity*. *Change*, 717-.
- Bisaro, A., Hinkel, J., & Kranz, N. (2010). *Multilevel water, biodiversity and climate adaptation governance: Evaluating adaptive management in Lesotho*. *Environmental Science and Policy*, 13(7), 637–647. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.08.004>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). *At Risk: Natural Hazards, People Vulnerability and Disasters 1st edition*.
- Brooks, N. (2003). *Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper No, 38.
- Christensen, N. S., & Lettenmaier, D. P. (2007). *Hydrology and Earth System Sciences A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin*. *Hydrol. Earth Syst. Sci* (Vol. 11). Recuperado a partir de www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1417/2007/
- CONAGUA. (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030*. (SEMARNAT, Ed.). México, D.F: Comisión Nacional del Agua. Recuperado a partir de www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf
- CONAGUA. (2014). *Cubo de usos concesionados o asignados, por municipio y fuente (superficial y subterránea) conforme la clasificación de Repda (periodo 2006-2013)*.
- CONEVAL. (2017). *Pobreza municipal 2010-2015*. Recuperado el 14 de marzo de 2018, a partir de <https://coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipal.aspx>
- Cutter, S. (1996). *Vulnerability to environmental hazards*. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529–539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>

- Cutter, S., Boruff, B., & Shirley, L. (2003). *Social Vulnerability to Environmental Hazards*. *Social Science Quarterly*, 84, 242–261.
- Cutter, S., & Finch, C. (2008). *Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(7), 2301 LP-2306. Recuperado a partir de <http://www.pnas.org/content/105/7/2301.abstract>
- Gallopín, G. C. (2006). *Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity*. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303.
<https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2006.02.004>
- Hinkel, J. (2008). *Transdisciplinary Knowledge Integration: Cases from Integrated Assessment and Vulnerability Assessment*. PhD Thesis at Wageningen University. Recuperado a partir de http://basarab.nicolescu.perso.sfr.fr/ciret/biblio/biblio_pdf/Hinkel.pdf
- Hinkel, J. (2011). “Indicators of vulnerability and adaptive capacity”: Towards a clarification of the science–policy interface. *Global Environmental Change*, 21(1), 198–208. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2010.08.002>
- Ionescu, C., Klein, R. J. T., Hinkel, J., Kavi Kumar, K. S., & Klein, R. (2005). *Towards a Formal Framework of Vulnerability to Climate Change (NeWater Working Paper 2 and FAVAIA Working Paper 1)*. Potsdam, Germany.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Nature (Vol. 446). Ginebra, Suiza.
<https://doi.org/10.1038/446727a>
- Jones, R. N. (2001). *An Environmental Risk Assessment/Management Framework for Climate Change Impact Assessments*. *Natural Hazards*, 23(2), 197–230.
<https://doi.org/10.1023/A:1011148019213>
- Kopytkovskiy, M., Geza, M., & McCray, J. E. (2015). *Climate-change impacts on water resources and hydropower potential in the Upper Colorado River Basin*. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 473–493.
<https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2015.02.014>

- Nguyen, T., Bonetti, J., Rogers, K., & Woodroffe, C. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management*, 123, 18–43.
- Patt, A., Klein, R. J. T., & de la Vega-Leinert, A. (2005). Taking the uncertainty in climate-change vulnerability assessment seriously. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(4), 411–424. <https://doi.org/10.1016/J.CRTE.2004.11.006>
- Sánchez Rodríguez, R., & Morales Santos, A. (2018). Vulnerability Assessment to Climate Variability and Climate Change in Tijuana, Mexico. *Sustainability*, 10(7), 2352. <https://doi.org/10.3390/su10072352>
- Tonmoy, F. N., & El-Zein, A. (2013). Vulnerability of infrastructure to Sea Level Rise: A combined outranking and system-dynamics approach.
- Tonmoy, F. N., El-Zein, A., & Hinkel, J. (2014). Assessment of vulnerability to climate change using indicators: A meta-analysis of the literature. *Wiley interdisciplinary reviews: Climate Change*.
- Turner II, B. L., E Kasperson, R., A Matson, P., Mccarthy, J., Corell, R., Christensen, L., ... Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 8074–8079.
- UN-HABITAT. (2014). *Planning for climate change: Guide – A strategic, values-based approach for urban planners*. UN-HABITAT. Recuperado a partir de <https://unhabitat.org/books/planning-for-climate-change-a-strategic-values-based-approach-for-urban-planners-cities-and-climate-change-initiative/>
- UNDP. (2010). *Designing Climate Change Adaptation Initiatives. A UNDP Toolkit for Practitioners*. United Nations Development Programme. Recuperado a partir de [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/951013_Toolkit for Designing Climate Change Adaptation Initiatives.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/951013_Toolkit%20for%20Designing%20Climate%20Change%20Adaptation%20Initiatives.pdf)
- UNISDR. (2012). *Guía para la Aplicación de Criterios en la Identificación de Acciones Claves para la Planificación de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) en América Latina y el Caribe*. Recuperado a partir de

<http://www.preventionweb.net/english/professional/publications/v.php?id=36538>

USAID. (2007). *Adapting to climate variability and change: a guidance manual for development planning*. USAID. Recuperado a partir de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadj990.pdf

WORLD BANK. (2011). *Guide to climate change adaptation in cities: executive summary*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Recuperado a partir de <http://documents.worldbank.org/curated/en/211791468323118474/Guide-to-climate-change-adaptation-in-cities-executive-summary>

III. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LA VULNERABILIDAD FUTURA

3.1. Introducción

Este documento presenta un análisis de los escenarios de cambio climático en el contexto de la gestión de los recursos hídricos en la Península de Baja California. El documento está estructurado en cuatro secciones. En primer lugar, se presenta un análisis espacial de los escenarios de cambio climático para la Península de Baja California, generados con una resolución espacial de 0.5x0.5o de latitud y longitud, para las variables de temperatura (máxima, mínima y promedio) y precipitación, a partir de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, con Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés) 4.5 y 8.5 de forzamiento radiativo (expresando en W/m²), para los horizontes donde se alcance un incremento de 1oC, 1.5oC y 2oC de temperatura media global.

En segundo lugar, a partir de los escenarios de cambio climático se presentan las curvas de oferta y demanda agregada de agua, así como las estimaciones y proyecciones de disponibilidad de agua para la Península de Baja California. En tercer lugar, se estudian los posibles impactos económicos y sociales asociados a esos escenarios, así como sus implicaciones para los sectores: industrial, turístico y agrícola. En cuarto lugar, se presenta un análisis de cómo el cambio climático incidirá en la vulnerabilidad futura. Finalmente, se presenta una discusión con las implicaciones del cambio climático para la gestión del agua.

3.2. Escenarios de cambio climático

Es importante señalar que el estudio utiliza los escenarios de cambio climático desarrollados por el Instituto Nacional de Cambio Climático (INECC), en el marco de la Sexta Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Es decir, los resultados presentados a continuación son recortes espaciales de esos escenarios para la Península de Baja California y no una regionalización de estos.

En este sentido, los resultados son indicativos de las anomalías esperadas en las variables de precipitación y temperatura (promedio, máxima y mínima) derivadas de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, forzados con los RCP4.5 y RCP8.5, para los horizontes de tiempo al 2030, 2041 y 2051 donde se alcancen incrementos de 1oC, 1.5oC y 2oC de temperatura media global. A las proyecciones de cambio de las variables climáticas de la precipitación y la temperatura para la Península de Baja California se les calcularon valores promedio con el software ARCGIS con la siguiente secuencia: 1. Se calcularon los valores promedio anual de temperatura máxima, mínima y media; 2. Se obtuvo un promedio de la anomalía acumulada de la precipitación diaria. A continuación, se presenta una serie de tablas que muestran los promedios anuales de las proyecciones de cambio en la temperatura (media, máxima y mínima) y la precipitación, según los modelos de circulación general HADGEM2-ES y MPI ESMLR para los RCP 4.5 y 8.5, para los horizontes de tiempo a 2030, 2041 y 2051, para los estados de Baja California y Baja California Sur.

3.3. Temperatura media

La Tabla 3 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura media para el horizonte de tiempo al 2030, para los estados de Baja California y Baja California Sur. A partir del RCP 4.5 los modelos MPI ESMLR y HADGEM2-ES proyectan incrementos en la temperatura media anual en Baja California de 1.3oC y 1.6oC, respectivamente; para Baja California Sur el incremento es de 1.0oC y 1.4oC. Mientras que el RCP de 8.5 posiciona esos incrementos en Baja California de 1.7oC y 1.9oC; en Baja California Sur de 1.3oC y 1.7oC.

Tabla 3 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura media (°C), horizonte futuro al 2030.

Entidad federativa	Horizonte futuro 2030			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	1.6	1.9	1.3	1.7
Baja California Sur	1.4	1.7	1.0	1.3

Fuente: INECC (2016).

La Tabla 4 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura media para el horizonte de tiempo al 2041, para los estados de Baja California y Baja California Sur. En Baja California, la temperatura media anual para el RCP 4.5 se incrementaría a 1.6oC (MPI ESMLR) y 1.9oC (HADGEM2-ES); mientras que el RCP8.5 proyecta un incremento de 2.0oC (MPI ESMLR) y 2.5oC (HADGEM2-ES). En Baja California Sur, los incrementos para el RCP 4.5 alcanzarían 1.3oC (MPI ESMLR) y 1.7oC (HADGEM2-ES); mientras que para el RCP 8.5 se proyecta de 1.6 (MPI ESMLR) y 2.2oC (HADGEM2-ES).

Tabla 4 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura media (°C), horizonte futuro al 2041

Entidad federativa	Horizonte futuro 2041			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	1.9	2.5	1.6	2.0
Baja California Sur	1.7	2.2	1.3	1.6

Fuente: INECC (2016).

La Tabla 5 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura media para el horizonte de tiempo al 2051, para los estados de Baja California y Baja California Sur. En cuanto a los valores proyectados para Baja California, el modelo HADGEM2-ES presenta un incremento de 2.4oC para el RCP 4.5 y de 3.1oC para el RCP 8.5; mientras que el MPI ESMLR proyecta un incremento de 1.9oC para el RCP 4.5 y de 2.4oC para el RCP 8.5. Por su parte, el incremento en Baja California Sur proyectado por el modelo HADGEM2-ES es de 2.1oC para el RCP 4.5 y de 2.7oC para el RCP 8.5; en este mismo sentido, el modelo MPI ESMLR estima un incremento de 1.6oC para el RCP 4.5 y de 1.9oC para el RCP 8.5.

Tabla 5 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura media (°C), horizonte futuro al 2051

Entidad federativa	Horizonte futuro 2051			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	2.4	3.1	1.9	2.4
Baja California Sur	2.1	2.7	1.6	1.9

Fuente: INECC, (2016).

Los incrementos proyectados en la temperatura media anual para los horizontes 2030, 2041 y 2051, en la mayoría de las proyecciones de cambio para la Península de Baja California, serían relativamente superiores al incremento medio global para los horizontes 2030 (1oC), 2041 (1.5oC) y 2051 (2oC). Destaca que el modelo HADGEM2-ES presenta valores promedio de temperatura media superiores a los proyectados por el modelo MPI ESMLR; además, el RCP 8.5 es el que presenta incrementos superiores a los presentados por el RCP 4.5. Los escenarios de cambio en la temperatura media muestran un incremento relativamente mayor en Baja California con respecto a Baja California Sur.

3.4. Temperatura Mínima

La Tabla 6 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura mínima para el horizonte de tiempo al 2030, para los estados de Baja California y Baja California Sur. En Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta un incremento de 1.5oC para el RCP 4.5 y de 1.8oC para el RCP 8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR proyecta un incremento de 1.3oC para el RCP 4.5 y de 1.7oC con el RCP 8.5. Para Baja California Sur, el incremento proyectado a partir del modelo HADGEM2-ES es de 1.3oC para el RCP 4.5 y de 1.7oC para el RCP 8.5; por otro lado, el modelo MPI ESMLR proyecta un incremento de 1.0oC para el RCP 4.5 y de 1.3oC para el RCP 8.5.

Tabla 6 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura mínima (°C), horizonte futuro al 2030

Entidad federativa	Horizonte futuro 2030			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	1.5	1.8	1.3	1.7
Baja California Sur	1.3	1.7	1.0	1.3

Fuente: INECC(2016).

La Tabla 7 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura mínima para el horizonte de tiempo al 2041, para los estados de Baja California y Baja California Sur. Para Baja California, a partir del modelo HADGEM2-ES se observa un incremento en la temperatura mínima de 1.9oC para el RCP 4.5 y de 2.4oC para el RCP 8.5; mientras que con el modelo MPI ESMLR los incrementos proyectados serían de 1.6oC para el RCP 4.5 y de 2oC para el RCP 8.5. Por su parte, los incrementos proyectados para Baja California Sur con el modelo HADGEM2-ES serían de 1.6oC para el RCP 4.5 y 2.2oC para el RCP 8.5; por su parte, el modelo MPI ESMLR proyecta esos incrementos en 1.3oC para el RCP 4.5 y 1.6oC para el RCP 8.5.

Tabla 7 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura mínima (°C), horizonte futuro al 2041

Entidad federativa	Horizonte futuro 2041			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	1.9	2.4	1.6	2.0
Baja California Sur	1.6	2.2	1.3	1.6

Fuente: INECC (2016).

La Tabla 8 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura mínima para el horizonte de tiempo al 2051, para los estados de Baja California y Baja California Sur. Para Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta incrementos en la temperatura mínima de 2.4oC para el RCP 4.5 y de 3.1oC para el RCP 8.5; mientras que el

modelo MPI ESMLR presenta incrementos de 1.9oC para el RCP 4.5 y de 2.4oC para el RCP 8.5. Para Baja California Sur, el incremento proyectado con el modelo HADGEM2-ES es de 2.1oC para el RCP 4.5 y de 2.7oC para el RCP 8.5; por su parte, el modelo MPI ESMLR presenta un incremento de 1.6oC para el RCP 4.5 y de 1.9oC para el RCP 8.5.

Tabla 8 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura mínima (°C), horizonte futuro al 2051

Entidad federativa	Horizonte futuro 2051			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	2.4	3.1	1.9	2.4
Baja California Sur	2.1	2.7	1.6	1.9

Fuente: INECC (2016).

Los incrementos proyectados en la temperatura mínima promedio anual para los horizontes 2030, 2041 y 2051, en la mayoría de las proyecciones de cambio para la Península de Baja California, serían relativamente superiores al incremento medio global para los horizontes 2030 (1oC), 2041 (1.5oC) y 2051 (2oC). Destaca que el modelo HADGEM2-ES presenta valores promedio de temperatura media superiores a los proyectados por el modelo MPI ESMLR; además, el RCP 8.5 es el que presenta incrementos superiores a los presentados por el RCP 4.5. Los escenarios de aumento en la temperatura mínima muestran un incremento relativamente mayor en Baja California con respecto a Baja California Sur.

2.5. Temperatura Máxima

La Tabla 9 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura máxima para el horizonte de tiempo al 2030 para los estados de Baja California y Baja California Sur. En Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta un incremento de 1.6oC para el RCP 4.5 y de 1.9oC para el RCP 8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR proyecta un incremento de 1.4oC para el RCP 4.5 y de 1.7oC con el RCP 8.5. Para Baja California Sur, el incremento proyectado a partir del modelo HADGEM2-ES es de 1.4oC para el RCP 4.5 y de

1.7oC para el RCP 8.5; por otro lado, el modelo MPI ESMLR proyecta un incremento de 1.1oC para el RCP 4.5 y de 1.3oC para el RCP 8.5.

Tabla 9 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura máxima (°C), horizonte futuro al 2030

Entidad federativa	Horizonte futuro 2030			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	1.6	1.9	1.4	1.7
Baja California Sur	1.4	1.7	1.1	1.3

Fuente: INECC (2016).

La Tabla 10 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura máxima para el horizonte de tiempo al 2041 para los estados de Baja California y Baja California Sur. Para Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta aumento en la temperatura máxima de 2.0oC para el RCP 4.5 y de 2.5oC para el RCP 8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR presenta aumentos de 1.6oC para el RCP 4.5 y de 1.9oC para el RCP 8.5. Para Baja California Sur, el incremento proyectado con el modelo HADGEM2-ES es de 1.7oC para el RCP 4.5 y de 2.2oC para el RCP 8.5; por su parte el modelo MPI ESMLR presenta un incremento de 1.3oC para el RCP 4.5 y de 1.6oC para el RCP 8.5.

Tabla 10 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura máxima (°C), horizonte futuro al 2041

Entidad federativa	Horizonte futuro 2041			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	2.0	2.5	1.6	1.9
Baja California Sur	1.7	2.2	1.3	1.6

Fuente: INECC(2016).

La Tabla 11 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la temperatura máxima para el horizonte de tiempo al 2051 para los estados de Baja California y Baja California Sur. Para Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta un incremento de la temperatura máxima de 2.4oC para el RCP 4.5 y de 3.2oC para el RCP 8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR presenta aumentos de 1.9oC para el RCP 4.5 y de 2.4oC para el RCP 8.5. Para Baja California Sur, el incremento proyectado con el modelo HADGEM2-ES es de 2.1oC para el RCP 4.5 y de 2.7oC para el RCP 8.5; por su parte, el modelo MPI ESMLR presenta un incremento de 1.6oC para el RCP 4.5 y de 1.9oC para el RCP 8.5.

Tabla 11 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la temperatura máxima (°C), horizonte futuro al 2051

Entidad federativa	Horizonte futuro 2051			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	2.4	3.2	1.9	2.4
Baja California Sur	2.1	2.7	1.6	1.9

Fuente: INECC(2016).

Los incrementos proyectados en la temperatura media anual para los horizontes 2030, 2041 y 2051, en la mayoría de las proyecciones de cambio para la Península de Baja California, serían relativamente superiores al incremento medio global para los horizontes 2030 (1oC), 2041 (1.5oC) y 2051 (2oC). El modelo HADGEM2-ES presenta valores de temperatura máxima superiores a los proyectados con el modelo MPI ESMLR; además, el RCP 8.5 es el que presenta incrementos superiores a los presentados por el RCP 4.5. Los escenarios de cambio de la temperatura máxima muestran un incremento relativamente mayor en Baja California con respecto a Baja California Sur.

2.6. Precipitación

La Tabla 12 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la precipitación acumulada diaria para el horizonte de tiempo al 2030 para los estados de Baja California y Baja California Sur. En Baja California, los escenarios presentan una disminución en la precipitación

media anual de -0.04 mm/día para el RCP 4.5 y de -0.05 mm/día para el RCP 8.5 del modelo HADGEM2-ES; mientras que el modelo MPI ESMLR proyecta una reducción de -0.02 mm/día para el RCP4.5 y de -0.06 mm/día para el RCP 8.5. En Baja California Sur, se proyecta un decremento en la precipitación en el modelo MPI ESMLR DE -0.14 mm/día para el RCP4.5 y -0.08 para el RCP 8.5; en contraste, el modelo HADGEM2-ES proyecta incrementos de 0.01 mm/día para los RCP 4.5 y 8.5.

Tabla 12 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la precipitación diaria (mm/día), horizonte futuro al 2030

Entidad federativa	Horizonte futuro 2030			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	-0.04	-0.05	-0.02	-0.06
Baja California Sur	0.01	0.01	-0.14	-0.08

Fuente: INECC (2016).

La Tabla 13 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la precipitación acumulada diaria para el horizonte de tiempo al 2041 para los estados de Baja California y Baja California Sur. Para Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta un decremento en la precipitación de -0.06 para el RCP4.5 y de -0.07 para el RCP8.5; por su parte el modelo MPI ESMLR proyecta decremento para el -0.4 RCP4.5 e incremento para el RCP8.5. En Baja California Sur, los modelos muestran comportamiento contrastante, el modelo HADGEM2-ES proyecta incrementos de 0.01 mm/día para el RCP4.5 y de 0.01 para el RCP8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR proyecta decrementos de -0.18 para el RCP4.5 y -0.09 mm/día para el RCP8.5.

Tabla 13 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la precipitación diaria (mm/día), horizonte futuro al 2041

Entidad federativa	Horizonte futuro 2041			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	-0.06	-0.07	-0.04	0.01
Baja California Sur	0.03	0.01	-0.18	-0.09

Fuente: INECC (2016).

La Tabla 14 muestra los datos promedio de las proyecciones de cambio de la precipitación acumulada diaria para el horizonte de tiempo al 2051 para los estados de Baja California y Baja California Sur. Para Baja California, el modelo HADGEM2-ES proyecta un decremento de -0.06 mm/día para el RCP4.5 y de -0.07 para el RCP8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR proyecta un decremento de -0.04 mm/día para el RCP4.5 y -0.01 para el RCP8.5. En Baja California Sur, las proyecciones son contrastantes: el modelo HADGEM2-ES proyecta un incremento de 0.13 mm/día para el RCP8.5; mientras que el modelo MPI ESMLR proyecta un decremento de -0.09 mm/día para los RCP 4.5 y 8.5.

Tabla 14 Datos promedio de las proyecciones de cambio en la precipitación diaria (mm/día), horizonte futuro al 2051

Entidad federativa	Horizonte futuro 2051			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Baja California	-0.06	-0.07	-0.04	-0.01
Baja California Sur	0.00	0.13	-0.09	-0.09

Fuente: INECC(2016).

Las proyecciones de cambio en la precipitación diaria en la Península de Baja California muestran en general decrementos. Es relevante observar que un decremento en la precipitación acompañado de un incremento en la temperatura, tendrían un efecto negativo en la recarga de los acuíferos, así como en la escorrentía de agua superficial, desencadenando una reducción en la disponibilidad natural media de agua.

2.7. Oferta y demanda de agua

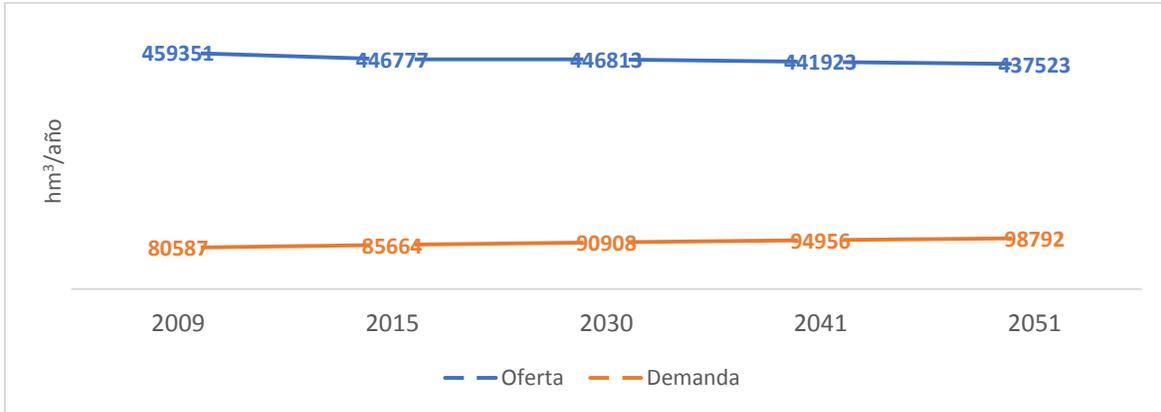
En esta sección se estudia el comportamiento de la oferta y la demanda agregada de agua con el fin de entender cuáles serían las implicaciones de una demanda excesiva sobre la disponibilidad de agua y sus usos agrupados. Este análisis se realiza a nivel nacional, a nivel de la Península de Baja California y a nivel de los estados de Baja California y Baja California Sur. La curva de oferta agregada de agua corresponde al volumen total anual de agua renovable (AR) y la curva de demanda agregada corresponde al volumen total anual

concesionado (VC). Los valores observados de agua AR y VC se recuperaron de las Estadísticas del Agua en México (EAM) ediciones 2001-2016, en ambos casos no existe una serie de tiempo lo suficientemente larga para hacer estimaciones más robustas (más de 30 observaciones), por lo que los resultados de las proyecciones al 2030, 2041 y 2051 que se presentan a continuación son estadísticamente informativos no concluyentes. Para las proyecciones de AR se obtuvo el promedio de la tasa de crecimiento del volumen reportado a nivel nacional, Región Hidrológica Administrativa I (RHAI) y entidad federativa, para los periodos 2000-2004, 2007-2010, 2011-2015.

Estos periodos se eligieron porque reportan valores similares al interior del grupo, pero diferentes de los otros grupos de años; así mismo, se incluyó la estimación de AR para el 2030 de las EAM edición 2016. Es importante señalar que las EAM reportan valores por entidad federativa únicamente en las ediciones 2015 y 2016. Los valores que presentamos a nivel entidad federativa para 2000-2014, son estimados como la proporción promedio de lo que representó cada entidad respecto al total de la RHAI en 2014 y 2015: Baja California 60% y Baja California Sur 26%. También es importante tener en cuenta que la suma es menor al cien por ciento debido a que la RHAI incluye a San Luis Río Colorado. Para las proyecciones del VC, las EAM presentan valores únicamente para el periodo 2007-2015 a nivel nacional, RHAI y por entidad federativa; no obstante, sólo se tienen datos consecutivos entre 2012-2015, por lo que se calcula el promedio de las tasas de crecimiento anual entre 2012 y 2015.

La tasa de crecimiento anual se obtuvo con la ecuación siguiente (1): $r = \left[\left(\frac{V_f}{V_i} \right) - 1 \right] * 100$ donde r es la tasa de crecimiento, V_f es el valor en el año último año y V_i es el valor en el año inicial. Es importante señalar que se usó el valor promedio de los periodos mencionados en orden de suavizar las variaciones anuales identificadas entre cada año reportado por las EAM. Las previsiones de AR a 2041 y 2051 se calcularon a partir de la ecuación siguiente (2) $AR/VC^{t+n} = AR/VC^t(1+r)^n$, donde AR/VC^{t+n} es la proyección de agua renovable o del volumen total concesionado, AR/VC^t es el valor final del agua renovable o del volumen concesionado, r es la tasa de crecimiento, y n es el número de años que se comprende entre el momento proyectado y el de referencia. A nivel nacional (Gráfica 1) se observa una brecha positiva por más de dos tercios entre la oferta y la demanda de agua.

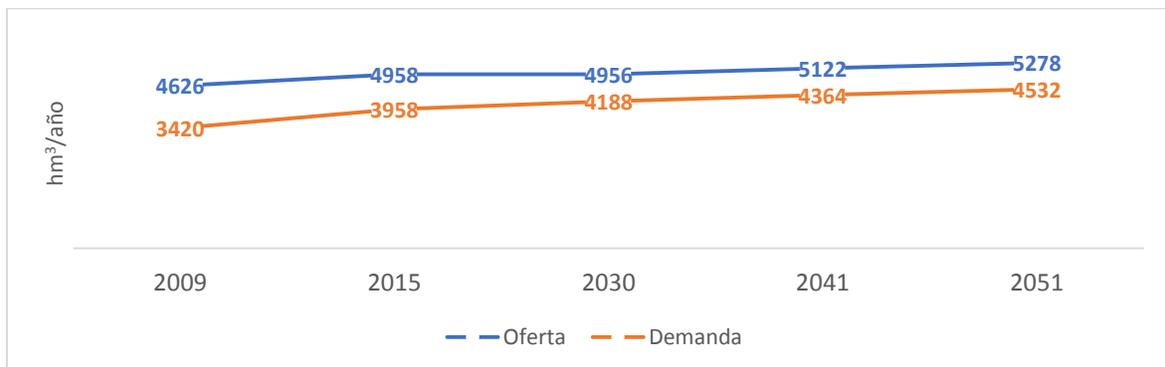
Gráfica 1 Oferta y demanda de agua agregada a nivel nacional, 2009-2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

En el caso de la RHAI (Gráfica 2), los valores reportados por las EAM muestran un aumento en el volumen de AR, al pasar de los 4424 hm³/año para el periodo 2000-2010 a 4636 hm³/año para 2011-2015, mientras que la estimación de Conagua a 2030 la sitúa en 4956 hm³/año, de seguir esa tendencia, a 2051 alcanzaría los 5278 hm³/año. En términos de la brecha hídrica se observa un balance positivo de alrededor de 700 hm³/año.

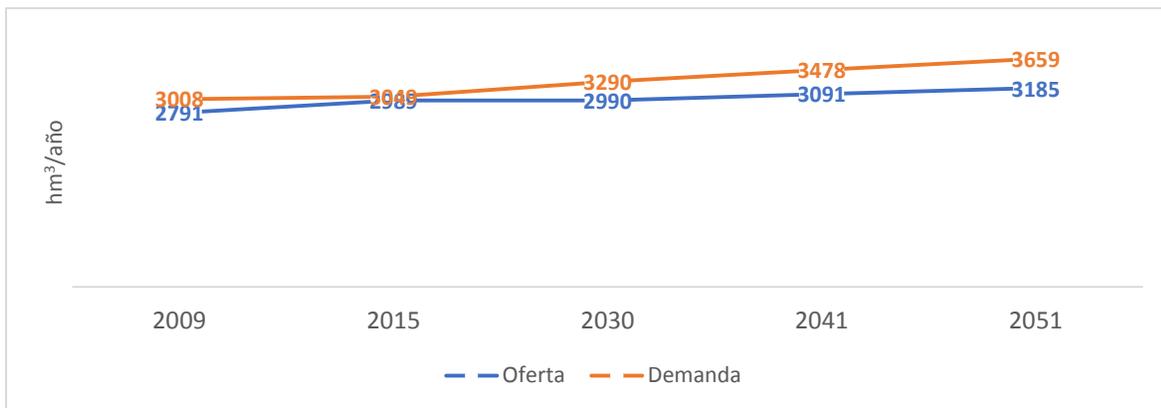
Gráfica 2 Oferta y demanda agregada de agua en la RHAI, 2009-2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

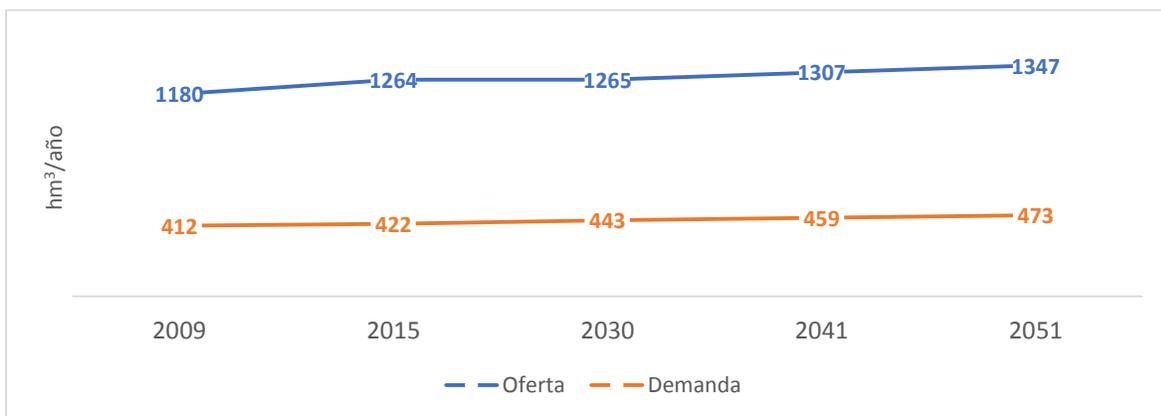
Baja California (Gráfica 3) y Baja California Sur (Gráfica 4) hacen eco a la tendencia de la RHI con aumentos relativos en el volumen de AR, al pasar de los 2699 hm³/año a los 3185 hm³/año y de los 1129 hm³/año a 1347 hm³/año respectivamente. Sin embargo, en términos de la brecha hídrica, Baja California es deficitaria y Baja California Sur es superavitaria.

Gráfica 3 Oferta y demanda agregada de agua en Baja California, 2009-2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

Gráfica 4 Oferta y demanda de agua agregada en Baja California Sur, 2009-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014).

2.8. Disponibilidad de Agua por Habitante

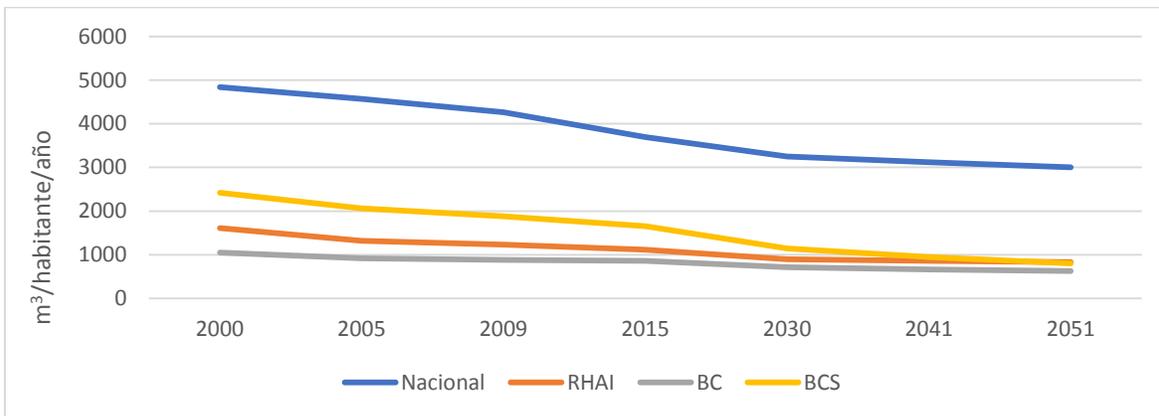
El volumen de agua renovable por habitante es uno de los indicadores de disponibilidad de agua que se usa con mayor frecuencia para ilustrar la distribución de los recursos hídricos. Las EAM presentan valores de ese indicador a nivel nacional, RHAÍ y entidad federativa para el periodo 2000-2015, además presenta estimaciones a 2030. Para las proyecciones de AR del horizonte futuro al 2041 y 2051 se usó la proporción promedio de agua renovable por entidad federativa en relación con la RHAÍ: Baja California (BC) 60% y Baja California Sur (BCS) 26%. Para los datos de población se utilizaron las proyecciones de la población (a mitad de año) 2010-2050, realizadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Es importante señalar que CONAPO presenta datos nacionales 2010-2050, mientras que por entidad federativa sólo los calcula para 2010-2030. Para las proyecciones de población al 2041 y 2051 por entidad federativa utilizamos la tasa de crecimiento reportada por CONAPO entre 2010-2030. En cuanto a la RHAÍ, se utiliza un indicador proxy a partir de la suma de la población a mitad de año para BC y BCS. La Gráfica 5 presenta las estimaciones (2000-2015) y las previsiones (2030, 2041 y 2051) del volumen de Agua Renovable por habitante (ARh). A nivel nacional las estimaciones reportadas en las EAM del volumen de ARh presentan una tendencia decreciente al pasar de los 4841 a 3692 m³/habitante/año entre 2000 y 2015. La RHAÍ es la segunda región con menor disponibilidad de agua, después del Valle de México, la cual representa alrededor de un tercio del ARh nacional y ésta ha disminuido entre 2000 y 2015 (1610 a 1115 m³/habitante/año). A nivel entidad federativa se muestran diferencias importantes entre BC y BCS.

La situación de la primera es aún más grave puesto que cuenta con un menor volumen de ARh, mismo que se ha visto reducido al pasar de 1047 a 858 m³/habitante/año entre 2000 y 2015; BCS cuenta con un volumen de ARh mayor que el reportado por la RHAÍ pero aún debajo del nacional (representa cerca de la mitad), no obstante ha presentado una reducción más acelerada en su volumen al pasar de los 2240 a 1654 m³/habitante/año entre 2000 y 2015. En cuanto a las estimaciones a 2030, se prevé que el ARh seguirá disminuyendo a nivel nacional y en la RHAÍ (llegará a 3250 y 899 m³/habitante/año respectivamente). Esta misma tendencia se prevé para BC y BCS al llegar a los 717 y 1143 m³/habitante/año,

respectivamente. Mientras que en las estimaciones a 2051 se aprecia una desaceleración en la tendencia decreciente del volumen de ARh. A nivel nacional se estima en 3001 m³/habitante/año; la situación en la RHAI estima la reducción de la brecha entre el valor medio de la RHAI y el de BCS, los cuales estarán alrededor de los 800 m³/habitante/año, mientras que BC caería hasta los 625 m³/habitante/año. Esto representa una situación extremadamente crítica.

Gráfica 5 Estimaciones y previsiones de agua renovable por habitante, 2000-2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

Es importante recordar que el volumen de AR reportando por las EAM tendía a incrementarse para la RHAI, esto es una diferencia significativa con la tendencia decreciente a nivel nacional. Las proyecciones de AR para la RHAI, BC y BCS se realizaron respetando esa tendencia creciente, sin embargo, de no cumplirse ese supuesto la reducción de ARh sería aún más pronunciada. La Tabla 15 muestra al crecimiento poblacional como el principal factor que explica la reducción del ARh para la RHAI, BC y BCS.

Tabla 15 Previsiones de agua renovable por habitante, 2030-2051

Entidad federativa	Agua Renovable (hm ³ /año)			Población (millones de habitantes)			Agua renovable por habitante (m ³ /hab)		
	2030	2041	2051	2030	2041	2051	2030	2041	2051
Nacional	446813	441923	437523	137.5	141.8	145.8	3250	3117	3001
RHAI	4956	5122	5278	5.5	5.9	6.3	899	863	832
BC	2990	3091	3185	4.2	4.6	5.1	717	667	625
BCS	1265	1307	1347	1.1	1.4	1.7	1143	949	801

Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

2.9. Dimensión Económica del Agua

En orden de estudiar la relación que existe entre la disponibilidad de agua y el desempeño económico, se presenta una serie de gráficas que muestran la tendencia del Producto Interno Bruto (PIB) medido en millones de pesos a precios constantes de 2013 y del volumen total concesionado de agua (hm³/año). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) debido a que es un indicador de la fuerza con la que ambas variables están linealmente relacionadas con independencia de la escala en que cada variable está medida. El valor absoluto de ese coeficiente oscila entre 0 y 1, cuando es un valor de uno se dice que las variables están perfectamente relacionadas de manera directa; en contraste, “r” es negativo cuando la relación lineal es inversa.

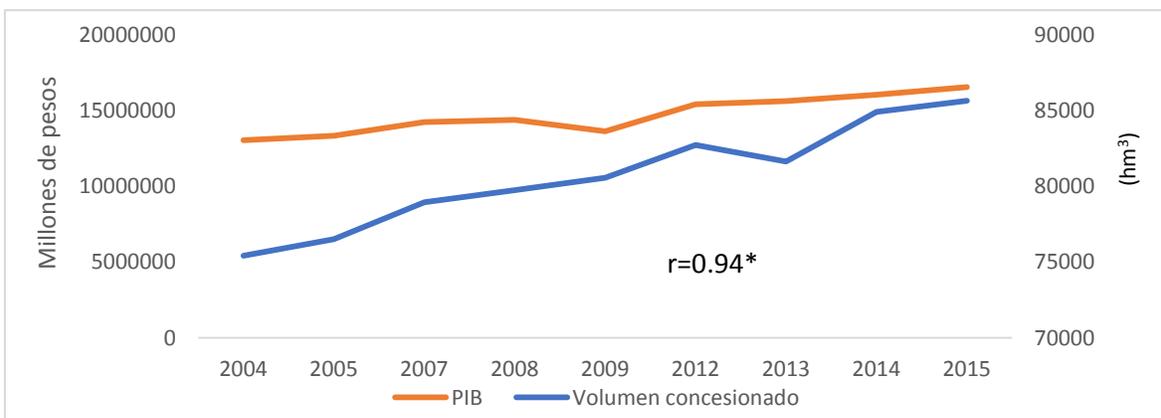
El coeficiente de Pearson se calcula a partir de la ecuación siguiente $r = \frac{SC_{xy}}{\sqrt{SC_x SC_y}}$, donde SC_{xy} es

la covarianza de (x, y); SC_x es la desviación típica de (x), y SC_y es la desviación típica de (y).

La Gráfica 6 muestra el crecimiento en el PIB nacional y el incremento del volumen concesionado de agua a nivel nacional. El coeficiente de Pearson es de 0.94 y es estadísticamente significativo al 95%, por lo que se intuye que existe una relación lineal positiva entre el aumento en el volumen de concesión de agua y el crecimiento del PIB. Es importante señalar que el valor de “r” no expresa causalidad, es decir, no se puede atribuir al incremento en el volumen concesionado como el causante del incremento en el PIB, pero sí se puede

apreciar que ambos valores se mueven en el mismo sentido. Para hacer un análisis más robusto se tendría que utilizar, por ejemplo, una regresión lineal a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), sin embargo, no se dispone de una base de datos histórica de al menos 30 observaciones (del volumen total de agua concesionado) que permita utilizar ese método.

Gráfica 6 Evolución del PIB y del volumen concesionado en México, 2004-2015

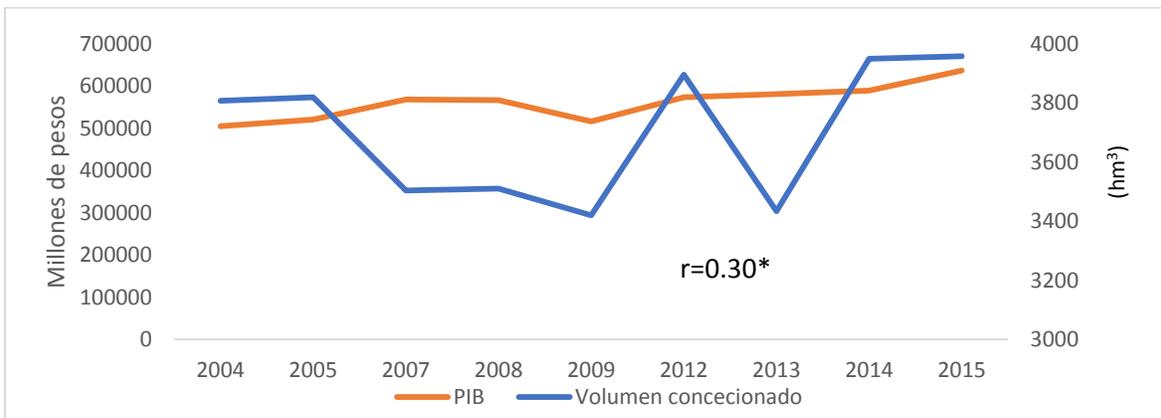


Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

En el caso de la RHAI (

Gráfica 7) se observa un coeficiente de Pearson de 0.30, significativo al 95%. Se observa que, a pesar de presentarse incrementos y decrementos en el volumen total concesionado de agua, el PIB de la RHAI ha mantenido una tendencia creciente.

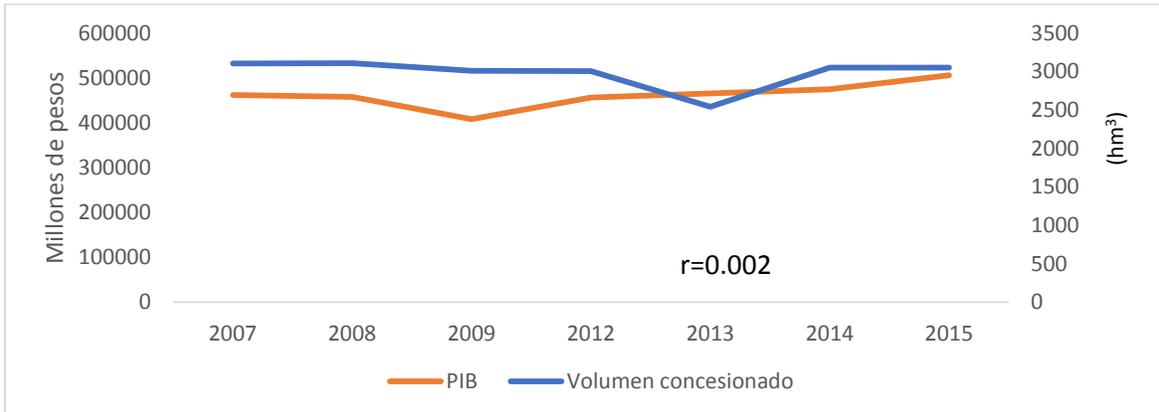
Gráfica 7 Evolución del PIB y del volumen concesionado en la Península de Baja California, 2004-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

En el caso de Baja California (Gráfica 8), se observa que no existe una relación lineal entre las variaciones del PIB y del volumen de agua concesionado por lo que el coeficiente de Pearson es muy cercano a cero.

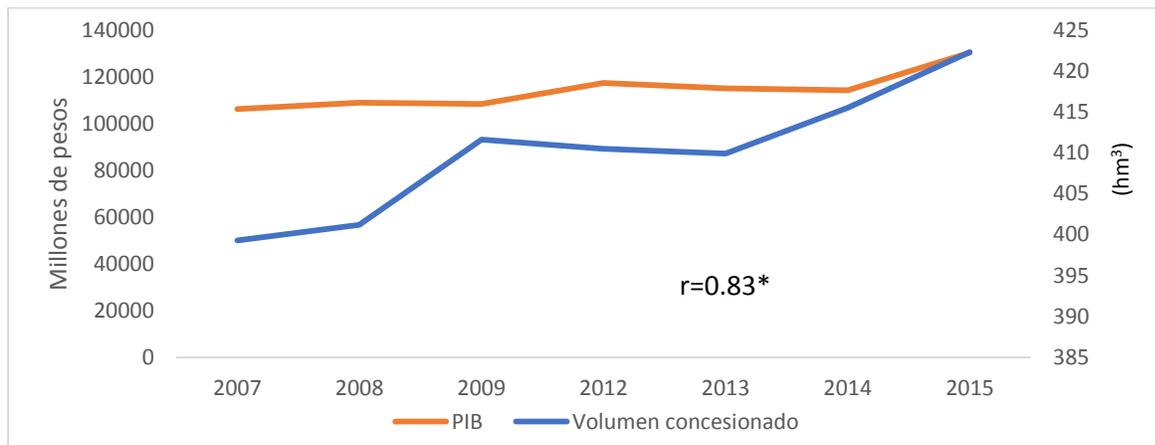
Gráfica 8 Evolución del PIB y del volumen concesionado en Baja California, 2007-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

En el caso de Baja California Sur (Gráfica 9), se observa una relación similar a la nacional, con incrementos en el PIB y en el volumen de agua concesionado, con un coeficiente de Pearson de $r=0.83$ estadísticamente significativo al 95%.

Gráfica 9 Evolución del PIB y del volumen concesionado en Baja California Sur, 2007-2015

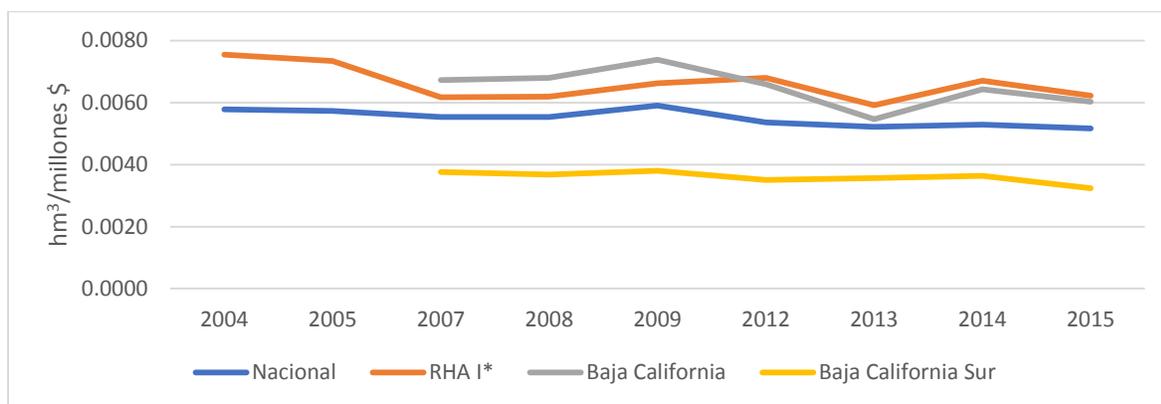


Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

Constantino et al. (2011) utilizan un indicador en el que relacionan el volumen de agua concesionado y el PIB como un criterio de eficiencia en el uso del agua respecto a cada unidad

de PIB. La Gráfica 10 muestra la evolución en la eficiencia del aprovechamiento de agua, aproximado desde el producto final y no desde la cadena de valor, el cual se ha mantenido con variaciones mínimas a nivel nacional y en Baja California Sur, mientras que Baja California disminuyó su eficiencia debido en buena medida a que el incremento en el PIB no se ha acompañado de una reducción considerable del volumen de agua concesionado.

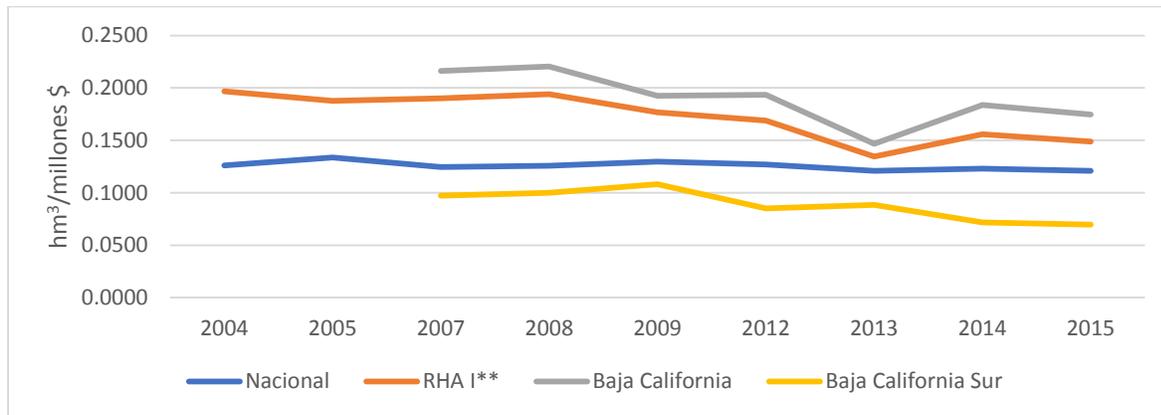
Gráfica 10 Relación del volumen concesionado total y el PIB, 2004-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

La Gráfica 11 muestra que la eficiencia en el sector agrícola ha sido más lenta que la eficiencia total. Baja California presenta un mejor desempeño puesto que ha mostrado que el crecimiento del PIB agrícola ha sido más dinámico que el del volumen concesionado de agua, no obstante, es la entidad con menor eficiencia. Baja California Sur, también ha mostrado una mejora en ese sentido.

Gráfica 11 Relación volumen concesionado total para uso agrícola y el PIB agrícola, 2004-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

En este análisis destacamos el caso de la agricultura por su enorme peso en el consumo de agua en la región. Un referente de las posibles consecuencias de cambios en el clima en la agricultura en el Valle de Mexicali es el estudio de Soto et al. (2013) el cual analiza diferentes niveles de estrés hídrico en variedades de trigo sembradas en el Valle de Mexicali en diferentes estadios de desarrollo de la planta. Sus resultados muestran reducciones en el rendimiento de grano que fluctuaron del 10% al 65%. El trigo es uno de los principales cultivos en el Valle de Mexicali³⁶.

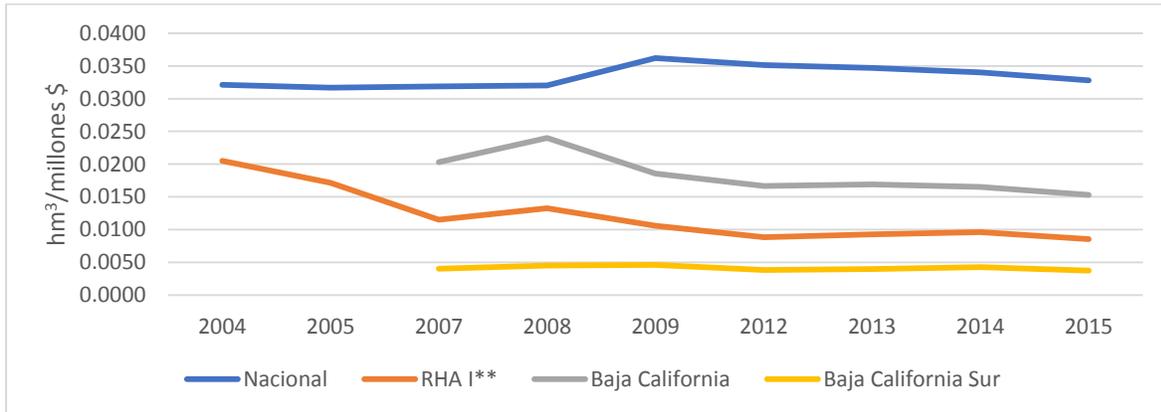
No se encontró otros reportes de investigación reportando el impacto del cambio climático en la agricultura en la Península de Baja California, pero un estudio reciente que analiza el impacto del cambio climático en la agricultura del sur de California es un referente útil para el análisis los escenarios de cambio climático en la Península de Baja California por las similitudes en condiciones climáticas con el sur de California y el tipo de cultivos en Baja California. La agricultura en California es altamente sensible al cambio climático, en particular a partir de cambios en la temperatura y en la cantidad, forma y distribución de la precipitación, así como lo es a cambios en la frecuencia e intensidad de eventos extremos (ondas de calor, inundaciones y sequía) y en la disponibilidad de agua (Pathak et al., 2018).

36 Los otros cultivos más importantes en Baja California son la fresa, el algodón, tomate y cebolla.

El estudio menciona que, debido al cambio climático, se espera que el Sur de California sea un 15% y un 35% más seco para el 2100. El estudio evalúa el impacto del cambio climático en los principales cultivos en California y encuentra que la variación de 2oC en la temperatura está fuertemente relacionada con la variación en su rendimiento. De particular interés para este proyecto son los cultivos sensibles al cambio climático que también se encuentran en Baja California (maíz, trigo, algodón, fresas, tomate, uvas). Por ejemplo, las ondas de calor pueden ocasionar pérdidas de cerca del 10% en el maíz y el tomate. Un incremento de 4oC de temperatura puede ocasionar pérdidas entre 5% y un 40% en las frutas. El estudio menciona que entre las zonas agrícolas más vulnerables al cambio climático en California se encuentra el Valle Imperial justo en la frontera con la zona agrícola de Mexicali. Esta información refuerza la importancia de dar atención en el corto plazo a los posibles impactos del cambio climático en la agricultura en la Península de Baja California, en particular en los principales cultivos de la región.

El sector turístico en los estados de Baja California y Baja California Sur presenta un mejor desempeño en su consumo de agua que la media nacional (Gráfica 12). También es Baja California Sur la entidad que muestra la mayor eficiencia en comparación al total de la RHAI. A pesar de ello, es importante tener en cuenta que el turismo de playa es una de las actividades económicas en la región con mayor consumo de agua y requiere atención en el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático.

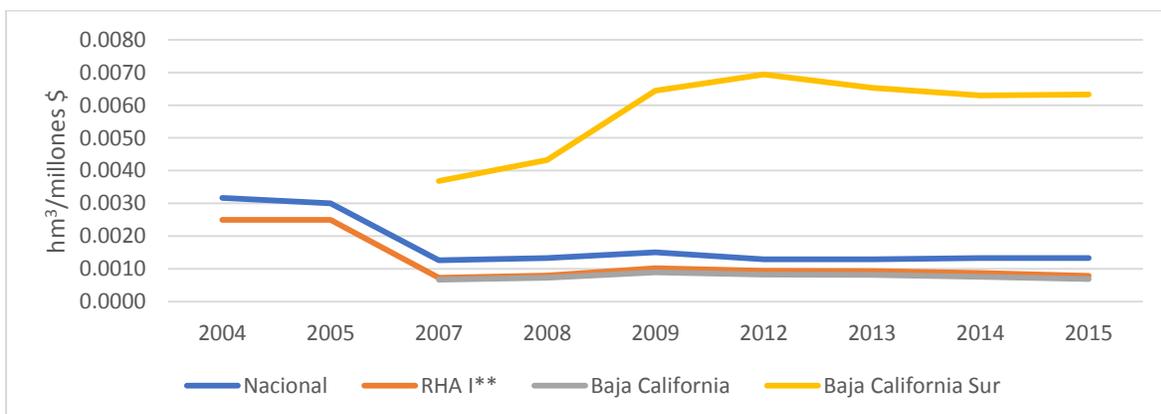
Gráfica 12 Relación volumen concesionado total para uso turístico y el PIB por servicios de alojamiento, 2004-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

En cuanto al sector industrial (Gráfica 13), Baja California Sur muestra que los incrementos en el PIB se han acompañado de incrementos mayores en el volumen de agua concesionado, haciendo un uso menos eficiente del recurso. Mientras que Baja California es más eficiente que a nivel nacional.

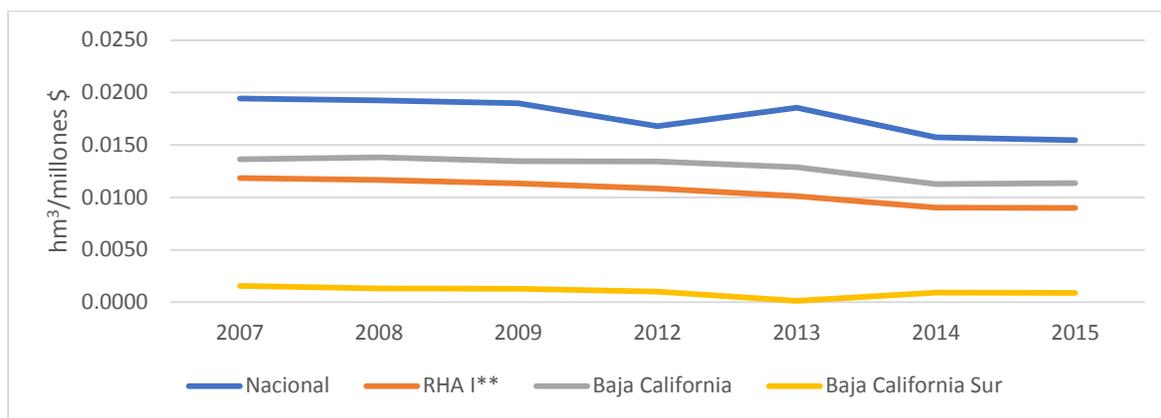
Gráfica 13 Relación volumen concesionado total para la industria autoabastecida y el PIB manufacturero, 2004-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

En el caso del volumen concesionado para generación de energía eléctrica, excluyendo la hidroelectricidad (Gráfica 14), Baja California y Baja California Sur son más eficientes que el valor nacional. No obstante, presentan valores relativamente estables a lo largo del periodo con el que se cuentan registros.

Gráfica 14 Relación volumen concesionado total para generación de energía eléctrica con excepción de la hidroelectricidad y el PIB por conducción agua y gas por ductos, 2004-2015



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014a, 2015, 2016; INEGI, s/f-b)

Los sectores económicos analizados muestran una diferencia en su desempeño, siendo el agrícola el menos eficiente. Las implicaciones de una reducción en el volumen de agua renovable tendrán consecuencias negativas en la eficiencia de uso del agua para la economía. A partir de estos hallazgos se pueden derivar estrategias diferenciadas para cada sector. El proyecto resalta que es primordial el diseño de estrategias para mejorar el desempeño agrícola en el uso del agua, particularmente en Baja California.

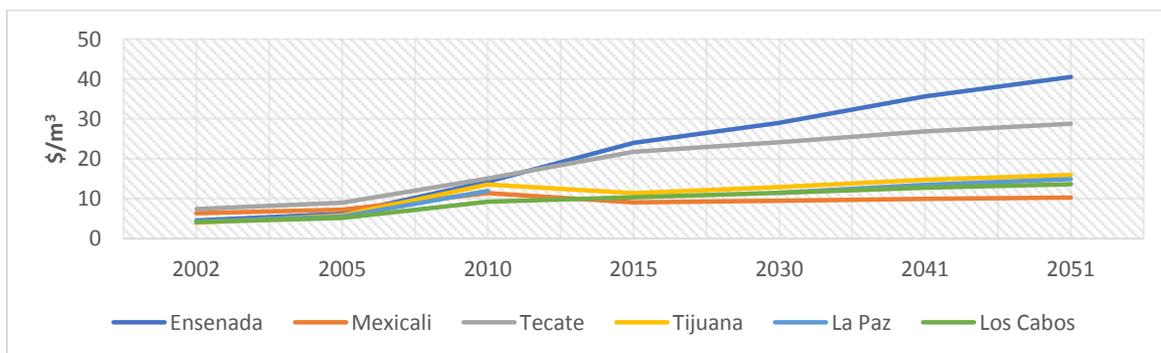
2.10. Valor Futuro del Agua

El proyecto consideró los cambios en el valor del agua por metro cúbico en los organismos operadores con información (Tijuana, Tecate, Ensenada, Mexicali, La Paz y Los Cabos). La

serie de tiempo disponible es del 2002 al 2015 lo que permite hacer un análisis estadísticamente indicativo no concluyente sobre la evolución del valor del agua y su proyección para los horizontes al 2030, 2041 y 2051. Para el cálculo de las proyecciones se usó el promedio de la tasa de crecimiento anual del valor del agua por metro cúbico (ver ecuación 1, página 19) y se proyectó de acuerdo con la ecuación 2 (ver página 19).

Los resultados en la Gráfica 15 y los datos completos en la Tabla 16 muestran poco cambio en el valor del agua varios de los municipios en el periodo del 2002 al 2005. Todos los municipios presentan un crecimiento en el valor del agua a partir del 2005 pero ese crecimiento es moderado en los municipios de Tijuana, Mexicali, La Paz y Los Cabos. Sin embargo, los municipios de Tecate y Ensenada tienen un crecimiento significativamente superior comparado con el resto de los municipios. Esa diferencia se incrementa al proyectar el valor del agua al 2051. A partir de los valores de referencia (2002-2015), las proyecciones muestran que en Tijuana, Mexicali, La Paz y Los Cabos el valor del agua oscila entre \$10 y \$15 pesos por m³, en Tecate se eleva a \$28 pesos por m³ y en Ensenada a \$41 por m³. Existen diversos factores que inciden el crecimiento en el valor del agua en esos dos municipios por encima de los otros municipios. En el caso de Ensenada ese incremento está asociado a costos operativos y a la construcción de nueva infraestructura (la planta desaladora y el ducto de flujo inverso La Misión-Ensenada), mientras en el caso de Tecate está asociado a costos operativos.

Gráfica 15 Valor futuro del agua, 2002-2051



Fuente: Elaboración propia con datos del IMTA/SEMARNAT (2016). Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores.

Tabla 16 Valor futuro del agua, 2002-2051 (\$/m³)

Clave	Estado	Clave	Municipio	2002	2005	2010	2015	2030	2041	2051
02	Baja California	02001	Ensenada	5	6	14	24	29	36	40
02	Baja California	02002	Mexicali	6	7	11	9	9	10	10
02	Baja California	02003	Tecate	7	9	15	22	24	27	29
02	Baja California	02004	Tijuana	4	6	14	11	13	15	16
03	Baja California Sur	03003	La Paz	4	5	12		11	13	15
03	Baja California Sur	03008	Los Cabos	4	5	9	10	11	13	14

Fuente: Elaboración propia con datos del IMTA/SEMARNAT (2016). Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores.

El proyecto incorpora esos resultados en el análisis de la vulnerabilidad futura. Para ello se considera tres valores como factor de ponderación a los escenarios de cambio climático arriba discutidos: un valor alto de 3 para el caso más elevado de Ensenada, un valor medio de 2 para el caso de Tecate y un valor bajo de 1 para el resto de los municipios. A ese valor se le suma el del costo social del agua a través del ingreso y la salud presentado en la siguiente sección.

2.11. Costo Social del Agua: Implicaciones en el Ingreso y en la Salud

El diagnóstico de este proyecto analizó el comportamiento del porcentaje de gasto que se destina para el acceso al agua en los hogares según deciles de ingreso para el período 1989-2014; además se realizaron proyecciones tendenciales al 2030 para la Península de Baja California³⁷. En el sector social, el principal reto estará entre la población con menores ingresos. La Tabla 17 muestra el gasto en agua potable como porcentaje del gasto total según deciles de ingreso (2004 y 2014), y la proyección tendencial de ese gasto al 2030. Se observa

³⁷ No se proyectó al 2051 porque decrece significativamente la confiabilidad de los resultados para un horizonte tan largo.

que son los deciles de ingreso bajo los que destinan una mayor proporción de su gasto total para el acceso al agua en comparación con los deciles de ingreso alto.

Tabla 17 Gasto en agua potable como porcentaje del gasto total según deciles de ingreso (2004 y 2014), y la proyección de ese gasto a 2030 en la Península de Baja California

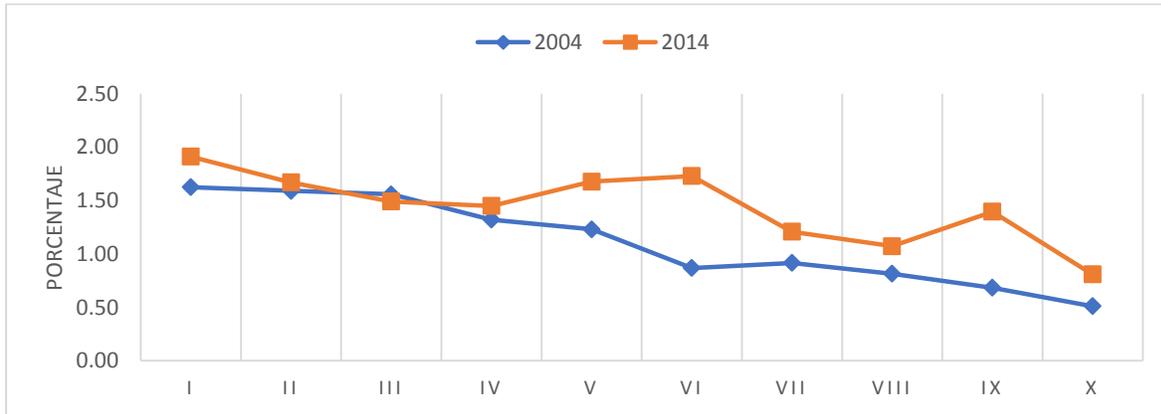
Deciles	2004	2014	2024	2030
I	1.62	1.91	2.20	2.37
II	1.59	1.67	1.75	1.80
III	1.56	1.49	1.42	1.38
IV	1.32	1.45	1.58	1.65
V	1.23	1.68	2.12	2.39
VI	0.87	1.73	2.59	3.11
VII	0.92	1.21	1.50	1.68
VIII	0.82	1.07	1.33	1.48
IX	0.68	1.40	2.11	2.54
X	0.51	0.81	1.11	1.29

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (s/f-a)

La Gráfica 16 muestra los resultados de los valores observados. Se aprecia que los deciles de ingreso bajo utilizan una mayor parte de su ingreso en la adquisición de agua en comparación con los deciles de ingreso altos³⁸ a lo largo de la década.

Gráfica 16 Gasto en agua potable como porcentaje del gasto total según deciles de ingreso, 2004 y 2014

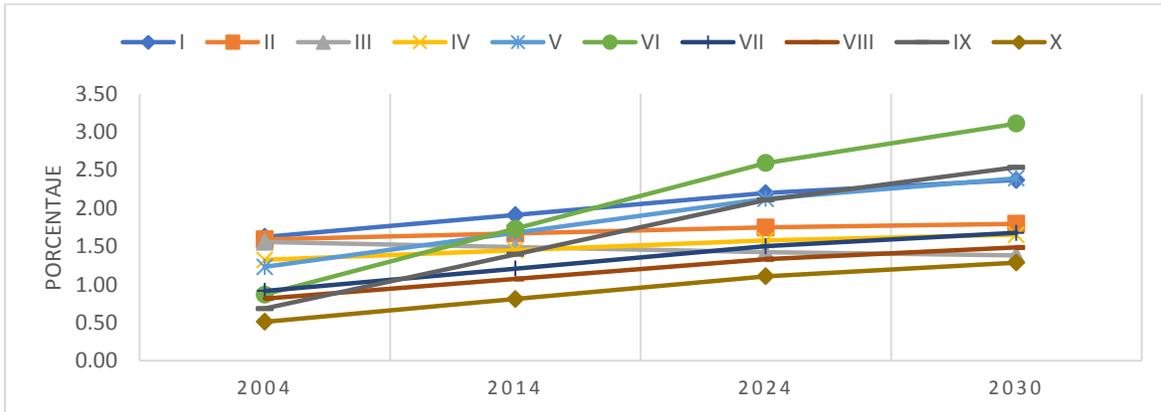
38 Es importante señalar que el marco muestral de la ENIGH es significativo para los deciles de ingreso a nivel nacional y no para entidades en específico, no obstante, la información es estadísticamente informativa de las tendencias en la región y los resultados se deben utilizar con reserva.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (s/f-a)

La gráfica Gráfica 17 presenta las proyecciones tendenciales hacia el horizonte al 2030. Se observa que los deciles VI y IX tienden a incrementar el porcentaje de su gasto que destinan para el acceso al agua en comparación con los deciles de ingreso alto. En esta proyección tendencial, los deciles de ingreso bajo continúan con una proporción del gasto por encima de los deciles de ingreso medio.

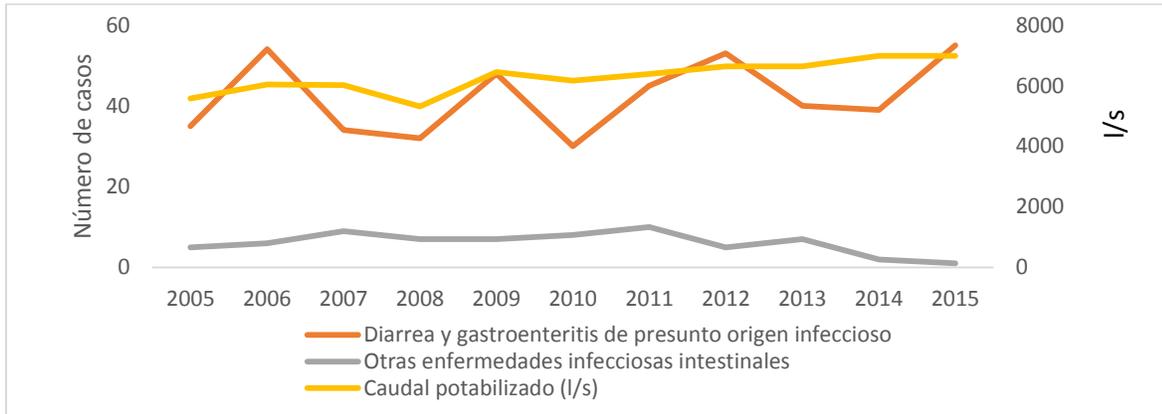
Gráfica 17 Gasto en agua potable como porcentaje del gasto total según deciles de ingreso (2004 y 2014), y la proyección de ese gasto a 2030 en la Península de Baja California



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (s/f-a)

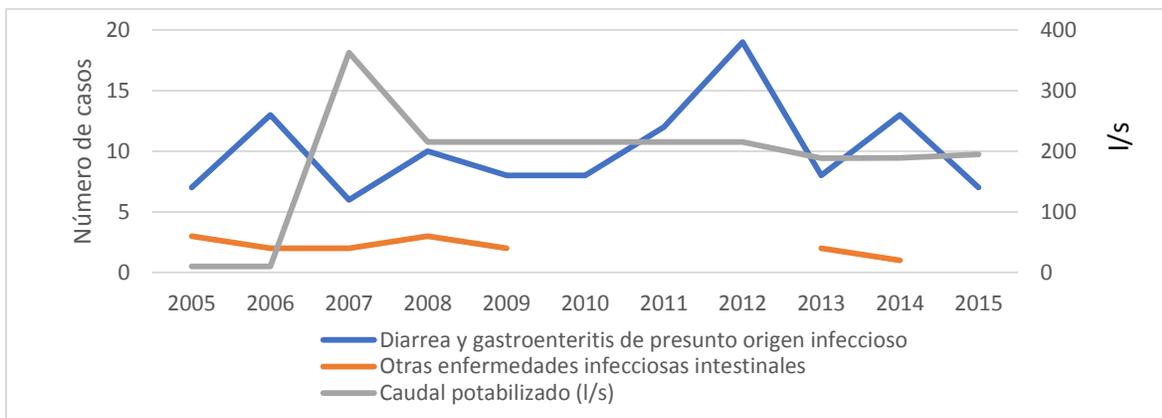
En cuanto al costo social por salud, se analizó la información disponible de mortalidad y morbilidad de enfermedades gastrointestinales, otras enfermedades infecciosas intestinales y diarrea asociadas al acceso y calidad del agua (ver Gráfica 18, Gráfica 19, Gráfica 20 y Gráfica 21). La información está disponible a nivel de entidad federativa. Se analizó su relación con el caudal de agua potabilizada (litros por segundo) y no se encontró una relación causal. Las dificultades para obtener información relevante para el análisis de salud a nivel municipal y poderla proyectar al menos al horizonte 2030, nos llevó a no considerar esta variable en este análisis.

Gráfica 18 Mortalidad y caudal potabilizado en Baja California, 2005-2015



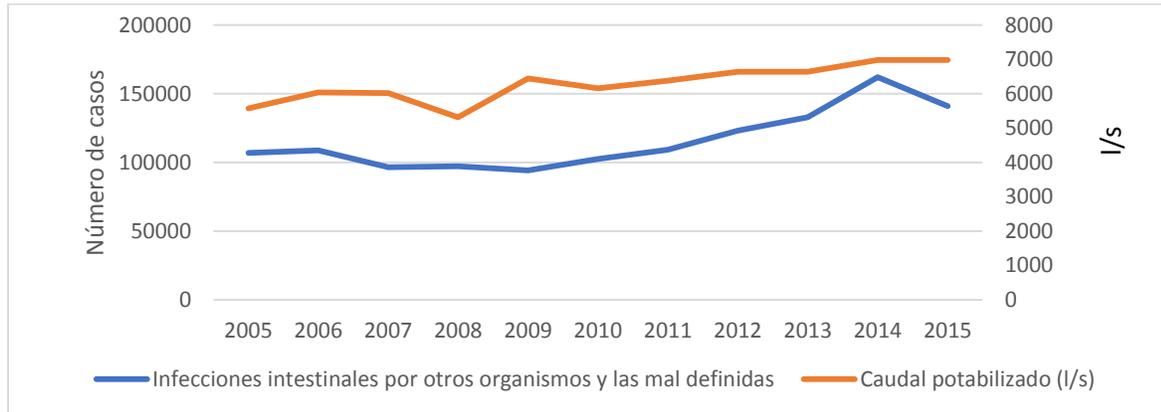
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2014b) y de la Secretaría de Salud (2015b, 2015a)

Gráfica 19 Mortalidad y caudal potabilizado en Baja California Sur, 2005-2015



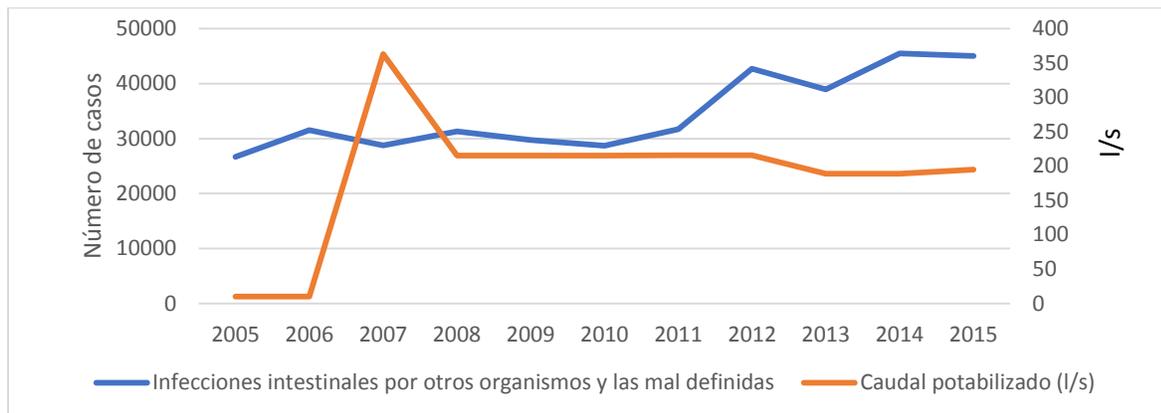
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2014b) y de la Secretaría de Salud (2015b, 2015a)

Gráfica 20 Morbilidad y caudal potabilizado en Baja California, 2005-2015



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2014b) y de la Secretaría de Salud (2015b, 2015a)

Gráfica 21 Morbilidad y caudal potabilizado en Baja California Sur, 2005-2015



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2014b) y de la Secretaría de Salud (2015b, 2015a)

2.12. La Gestión Futura del Agua en el Contexto de los Escenarios de Cambio Climático

Los escenarios de cambio climático plantean un reto adicional a nivel social y económico. Si bien no encontramos estudios que analicen los posibles impactos del cambio climático en la Península de Baja California, los estudios de la NASA para el suroeste de los Estados Unidos son un referente contextual útil. Esos estudios documentan que el cambio climático muy probablemente conducirá a una reducción en los niveles de precipitación e incrementarán la temperatura, conduciendo a una mayor evapotranspiración del suelo, lo que aumenta el riesgo de sequías en la región (Northon, 2015). Otro estudio estima que la sequía registrada entre 2000-2014 condujo a una reducción de alrededor de 65 kilómetros cúbicos en las reservas de agua en la Cuenca del Río Colorado, de los cuales el 75 por ciento corresponde a agua subterránea (Northon, 2014).

Las proyecciones de cambio climático para la Península de Baja California, derivados de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, estiman un incremento en las temperaturas (media, máxima y mínima) y un decremento en la precipitación. Las anomalías de temperatura para BC y BCS son superiores a la media global en cada horizonte temporal (2030, 2041 y 2051) particularmente en los meses más cálidos, además de un decremento en la precipitación en el invierno en BC y en el verano en BCS, periodos en los que se presenta la temporada de lluvias en cada entidad federativa. Para incorporar en las proyecciones de oferta de agua, entendida como el volumen de agua renovable por habitante (ARh), las tendencias de decrementos de la precipitación, así como de incrementos en la temperatura, de los escenarios de cambio climático, se hizo una interpretación cualitativa de los resultados de los escenarios de cambio climático a partir del juicio de experto.

Se utilizó una interpretación cualitativa porque no existe una serie de tiempo de al menos 30 años con observaciones mensuales sobre los cambios en el volumen de agua renovable, por lo tanto, es difícil establecer una asociación estadística robusta con las variables climáticas de temperatura y precipitación.

En consecuencia, también es difícil inferir sobre los impactos asociados al cambio climático. En un estudio reciente, Kopytkovskiy, Geza y McGray (2015) documentan los impactos del cambio climático en la cuenca del Río Colorado, encontrando que incrementos en la temperatura y decrementos en la precipitación conducen a reducciones en la disponibilidad de agua de hasta

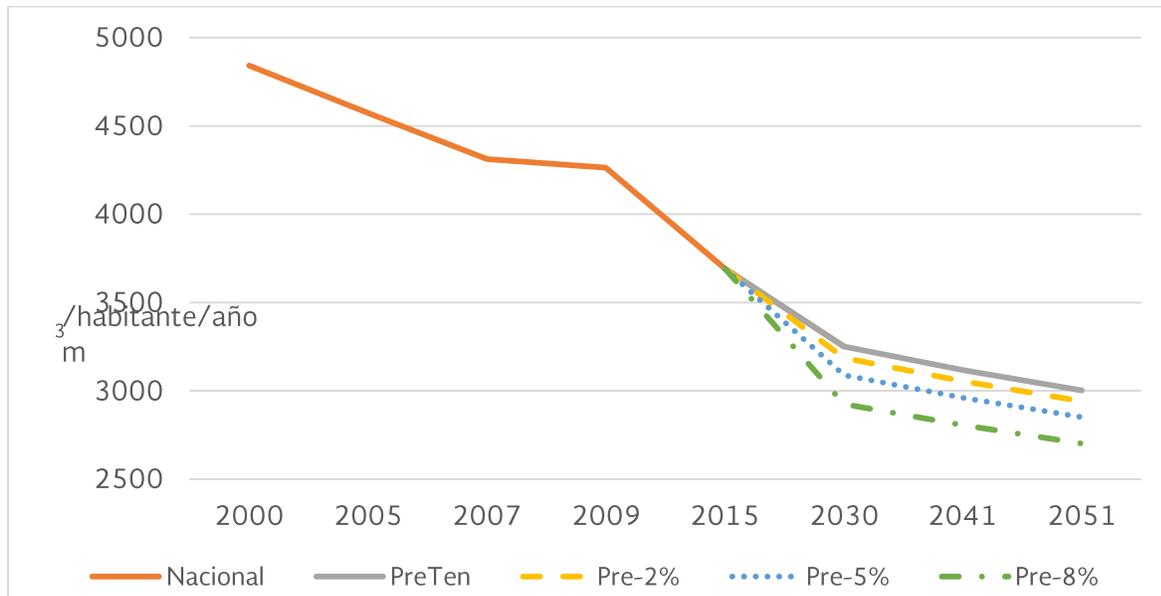
70% del volumen de agua en la reserva artificial más grande de la cuenca (Blue Mesa Reservoir). En otro estudio, Christensen y Lettenmaier (2007) documentan también tendencias decrecientes en la escurrimiento de agua y lo asocian a incrementos en la temperatura y decrementos en la precipitación: bajo el escenario tendencial (A2), incrementos en la temperatura de aproximadamente 3-4 °F, en combinación con decrementos en la precipitación entre 1% y 2%, conducen a una reducción media en la escurrimiento del 11%; mientras que bajo el escenario B1, se proyectan incrementos en la temperatura media cercanos a 2.52 °F, en combinación con cambios en la precipitación entre -1% y -8%, conduciendo a decrementos en la escurrimiento de hasta 8%.

A la luz de la información arriba mencionada, la interpretación que hacemos en este proyecto de los escenarios de cambio climático del INECC (2016) en cuanto a la afectación en la disponibilidad de agua a futuro, va en el mismo sentido que los resultados de los estudios de Kopytkovskiy, Geza y Macgrey (2015) y Christenen y Lettenmaier (2007) en cuanto a las tendencias generales: incrementos en la temperatura media y decrementos en la precipitación. Esto nos permite suponer que también conducirá a una reducción en la disponibilidad de agua en la Península de Baja California; sin embargo, está fuera de los alcances de este proyecto hacer una asociación estadística en el sentido de los estudios referidos con anterioridad. Por esta razón, sólo se realiza una interpretación cualitativa de las tendencias de decrecimiento en la disponibilidad de AR, con tres trayectorias posibles: bajo (2%), medio (5%) y alto (8%). Nótese que para el valor alto de decrecimiento de AR se tomó como referencia el estudio de Christenen y Lettenmaier (2007).

Los escenarios de ARh se construyeron a través de un procedimiento de extrapolación simple aplicado al volumen de agua renovable (AR), mientras que no se altera el valor estimado de la población calculado por CONAPO. A continuación, se presenta una serie de gráficas con las estimaciones (2000-2015) y previsiones (2030, 2041 y 2051) de reducción del volumen de ARh a nivel nacional, RHA, BC y BCS. La Gráfica 22 muestra una caída pronunciada del ARh a nivel nacional, el escenario tendencial muestra una reducción de 1000 m³/habitante/año entre 2009 y 2030, mientras que la proyección a 2051 muestra una caída adicional de alrededor de 200 hm³/habitante/año, para alcanzar un total de 3000 m³/habitante/año. Las proyecciones asociadas a los escenarios cualitativos agravan la caída en ARh resultando en los siguientes

valores a 2051: 2940, 2850 y 2700 m³/habitante/año para las reducciones adicionales de 2%, 5% y 8%, respectivamente.

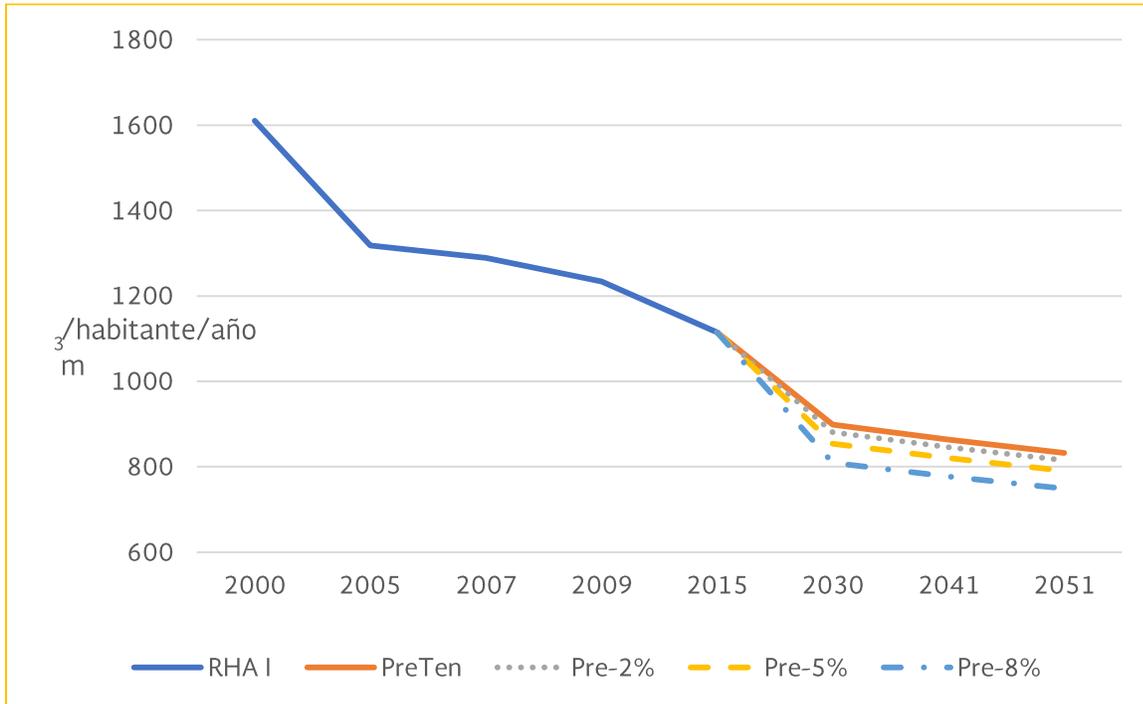
Gráfica 22 Estimaciones (2000-2015) y proyecciones de agua renovable por habitante en México horizonte futuro al 2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

En cuanto a la RHA (Gráfica 23), el escenario tendencial muestra una reducción relativamente menor entre 2030 y 2051, de alrededor de 60 m³/habitante/año, para alcanzar los 832 m³/habitante/año. Mientras que los escenarios cualitativos muestran volúmenes de 815 (-2%), 790 (-5%) y 748 (-8%) m³/habitante/año.

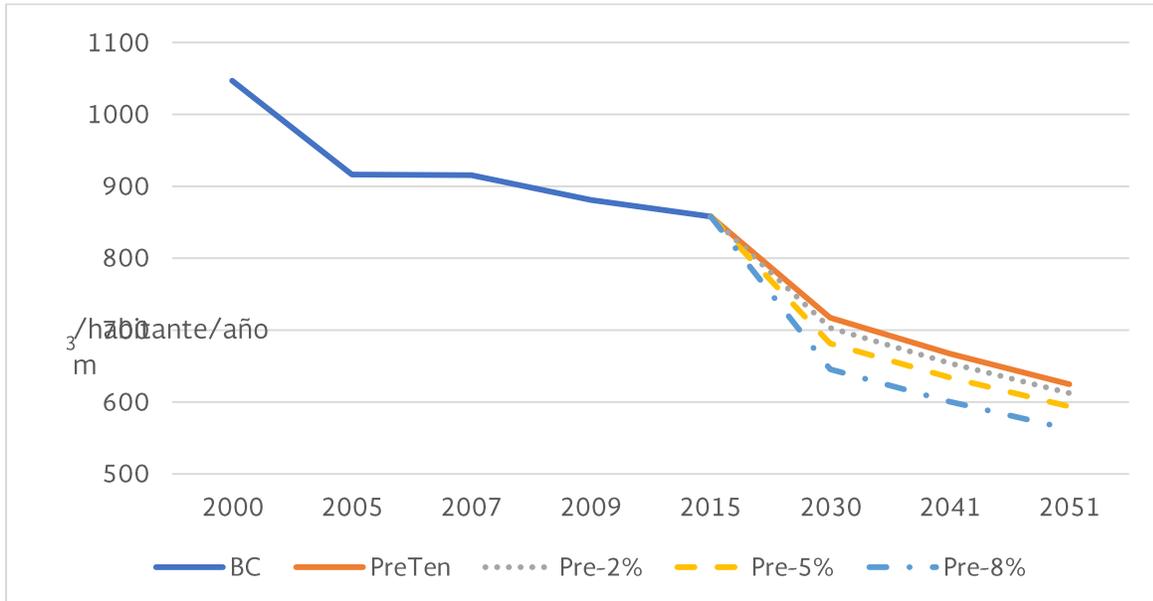
Gráfica 23 Estimaciones (2000-2015) y proyecciones de agua renovable por habitante en la Península de Baja California, horizonte futuro al 2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

La Gráfica 24 muestra una caída del volumen de ARh para BC. En 2015 el valor observado de ARh es de 858 m³/habitante/año, el escenario tendencial a 2051 calcula ese volumen en 625 m³/habitante/año, mientras que los escenarios cualitativos estiman 612 (-2%) 593 (-5%) y 562 (-8%) m³/habitante/año.

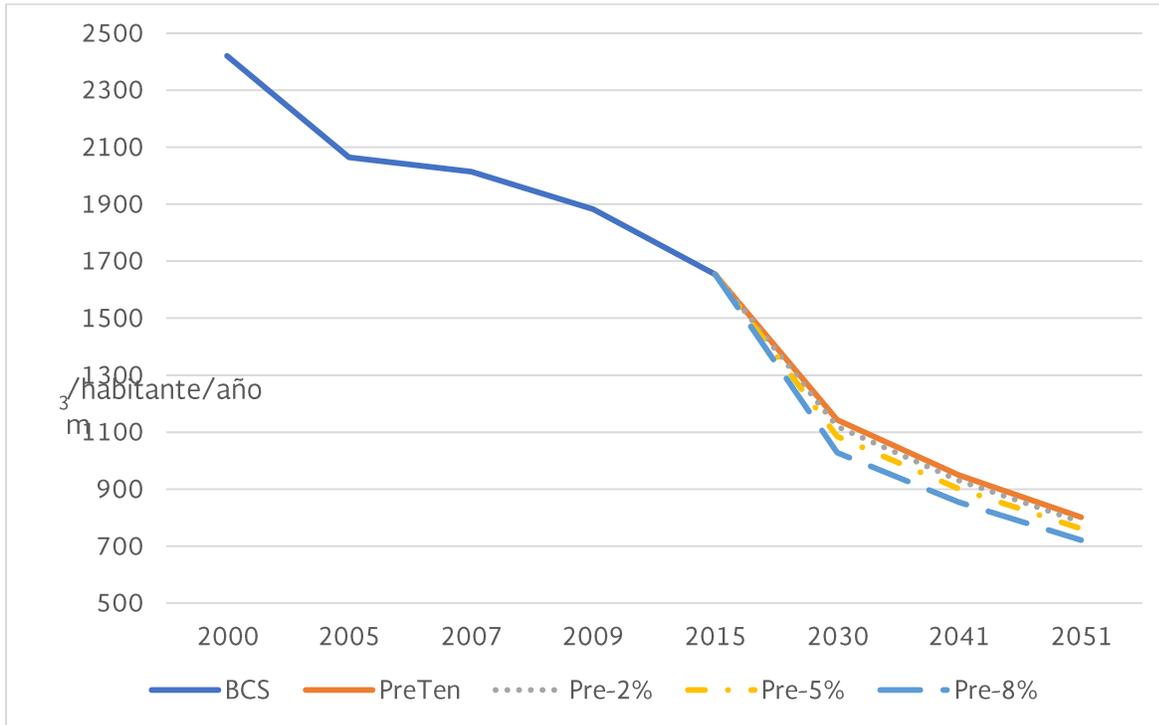
Gráfica 24 Estimaciones (2000-2015) y proyecciones de agua renovable por habitante en Baja California, horizonte futuro al 2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

En Baja California Sur también se proyecta con una reducción considerable en su volumen de ARh (Gráfica 25). El volumen de ARh fue de 1654 m³/habitante/año en 2015, mientras que para 2030 ese valor se estima en 1120 m³/habitante/año y de continuar con esa tendencia a 2051 contaría únicamente con 801 m³/habitante/año. Los escenarios cualitativos dan cuenta de únicamente 785 (-2%), 761 (-5%) y 721 (-8%) m³/habitante/año lo que representa una situación crítica para ese estado.

Gráfica 25 Estimaciones (2000-2015) y proyecciones de agua renovable por habitante en Baja California Sur, horizonte futuro al 2051



Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 1999, 2001, 2014a, 2015, 2016, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013; CONAPO, 2014)

Las estimaciones de ARh plantean un reto para la gestión del agua en México puesto que una disponibilidad inferior a los 1700 m³/habitante/año se considera como una situación de estrés hídrico (SEMARNAT, 2012). Para entender la gravedad de los escenarios descritos con anterioridad, basta retomar los intervalos de la situación de disponibilidad de agua, los cuales consideran seis categorías (m³/habitante/año): muy alta (> 20000), alta (10000 – 20000), media (5000 – 10000), baja (2000 – 5000), muy baja (1000 – 2000), extremadamente baja (< 1000) (SEMARNAT, 2012). A partir de la escala, los escenarios presentados con anterioridad proyectan que nivel nacional al 2051 la disponibilidad de agua será baja, mientras que para RHA, BC y BCS se proyecta que será extremadamente baja.

Es importante mencionar que los resultados arriba descritos no incluyen el impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en el Río Colorado. Esto puede afectar de manera importante el abasto de agua para la agricultura y las áreas urbanas que concentran más del

90 por ciento de la población y casi la totalidad de la industria en Baja California. El proyecto no encontró estudios sobre el impacto del cambio climático en México por lo que se tomó como referencia diversos estudios reportados en la literatura internacional sobre este tema. Un estudio sobre los efectos del cambio climático en los recursos de agua en la Cuenca del Río Colorado (N. Christensen, Wood, Voisin, Lettenmaier, & Palmer, 2004) menciona que esa cuenca es altamente sensible a reducciones en el flujo de su volumen anual debido a que el agua en la cuenca está completamente asignada. Al igual que un estudio previo (Gleick & Chalecki, 1999) considera una posible reducción entre un 10% y un 20% en el escurrimiento natural en escenarios de cambio climático, lo que puede representar una caída en la capacidad de almacenamiento de agua en la cuenca entre 30% y 60%. El estudio considera cómo el cambio climático afectaría la entrega de agua a México comprometida en el Tratado Binacional de 1944. Las proyecciones muestran que la entrega de agua a México se reduciría significativamente a lo largo del siglo XXI (por arriba del 24%).

2.13. Vulnerabilidad Futura del Agua

El análisis de la vulnerabilidad realizado en el entregable tres del proyecto permite considerar en qué medida esa vulnerabilidad puede agravarse o disminuir al tomar en cuenta los escenarios de cambio climático. El análisis de la vulnerabilidad futura se realizó en 3 pasos. En el primero, se convirtieron las capas de ráster a capas de puntos para obtener la tabla de atributos y valores de temperatura y precipitación para los doce meses que integran las proyecciones de cambio climático; se identificó espacialmente a qué entidad federativa y municipio correspondía cada punto y se agregó esa información a la tabla de atributos para calcular valores promedio en cada municipio.

Los datos se importaron a Acces para generar tablas dinámicas con las cuales se obtuvieron los promedios anuales de las anomalías de temperatura máxima y mínima, así como la de precipitación a nivel municipal y entidad federativa. En el segundo, el proyecto sobrepuso la capa de resultados de los escenarios de cambio climático a la capa de resultados del análisis de vulnerabilidad actual a nivel municipal. Para ello se usaron tres variables: incrementos de temperatura máxima y mínima, precipitación. Para la temperatura (máxima y mínima), se asignó un valor de 1 cuando el incremento de la temperatura promedio es menor o igual a 1oC

, un valor de 2 cuando el incremento de la temperatura media es mayor a 1oC, pero menor o igual a 1.5oC, y un valor de 3 cuando el incremento de la temperatura media es superior a 1.5oC. Para la precipitación se asignó un valor de 1 cuando existe un incremento en la precipitación promedio, un valor de 2 cuando es un decremento medio entre -0.001 y -0.05 mm, y un valor de tres al resto de los decrementos. Abajo se presentan 3 tablas con los resultados del análisis de los escenarios de cambio climático usados en el análisis de la vulnerabilidad futura. La

Tabla 18 presenta los resultados de los escenarios de cambio climático de los dos modelos. La Tabla 19 presenta los valores asignados a esos resultados de acuerdo con criterio arriba mencionado para ser considerado en el análisis de la vulnerabilidad futura.

Tabla 18 Proyecciones de cambio de la temperatura y la precipitación, horizonte al 2030, 2041 y al 2051

Municipi o	Horizonte futuro 2030												Horizonte futuro 2041												Horizonte futuro 2051											
	Temp. Máx.				Temp. Mín				Precipitación				Temp. Máx.				Temp. Mín				Precipitación				Temp. Máx.				Temp. Mín				Precipitación			
	HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR		HADGEM2 -ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RC P 4.5	RC P 8.5				
Ensenada	1.6	1.9	1.4	1.7	1.5	1.8	1.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	2.5	1.6	1.9	1.9	2.4	1.6	2.0	-0.1	-0.1	0.1	0.0	2.4	3.2	1.9	2.4	2.4	3.1	1.9	2.4	-0.1	-0.1	0.1	0.0
Mexicali	1.7	2.0	1.4	1.8	1.6	1.9	1.4	1.8	-0.1	0.1	0.0	0.0	2.1	2.7	1.7	2.0	2.0	2.5	1.7	2.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	2.6	3.4	1.9	2.5	2.5	3.2	2.0	2.6	-0.1	-0.1	0.0	0.0
Tecate	1.7	2.0	1.3	1.7	1.5	1.8	1.3	1.7	-0.1	0.1	0.1	0.0	2.0	2.6	1.5	1.9	1.8	2.3	1.6	2.0	-0.1	-0.1	0.0	0.1	2.5	3.3	1.8	2.3	2.3	3.0	1.8	2.4	-0.1	-0.1	0.0	0.0
Tijuana	1.5	1.8	1.2	1.6	1.4	1.7	1.3	1.6	0.0	0.1	0.1	0.0	1.9	2.4	1.5	1.8	1.7	2.2	1.5	1.9	-0.1	-0.1	0.1	0.1	2.4	3.1	1.7	2.3	2.2	2.9	1.8	2.3	0.0	-0.1	0.0	0.0
Playas de Rosarito	1.5	1.8	1.2	1.6	1.4	1.7	1.3	1.6	0.0	0.1	0.1	0.0	1.9	2.4	1.5	1.8	1.7	2.2	1.5	1.9	-0.1	-0.1	0.1	0.1	2.4	3.1	1.7	2.3	2.2	2.9	1.8	2.3	0.0	-0.1	0.0	0.0
Comondú	1.4	1.7	1.0	1.2	1.3	1.7	1.0	1.2	0.0	0.0	0.1	0.0	1.7	2.2	1.2	1.4	1.6	2.1	1.2	1.4	0.0	0.0	0.1	0.0	2.1	2.7	1.5	1.8	2.0	2.6	1.5	1.8	-0.1	0.1	0.1	0.0
Mulegé	1.5	1.9	1.2	1.4	1.4	1.9	1.1	1.4	0.0	0.0	0.1	0.1	1.8	2.4	1.4	1.7	1.8	2.3	1.4	1.7	0.0	0.0	0.2	0.0	2.3	3.0	1.7	2.1	2.2	2.9	1.7	2.1	-0.1	0.0	0.1	0.0
La Paz	1.3	1.5	1.0	1.2	1.2	1.4	1.0	1.1	0.1	0.1	0.2	0.1	1.5	1.9	1.2	1.4	1.5	1.9	1.2	1.4	0.2	0.1	0.2	0.2	1.9	2.4	1.5	1.8	1.8	2.4	1.5	1.8	0.1	0.3	0.0	0.2
Los Cabos	1.1	1.3	1.0	1.2	1.1	1.3	1.0	1.1	0.2	0.1	0.3	0.2	1.4	1.8	1.2	1.4	1.4	1.8	1.2	1.4	0.3	0.1	0.3	0.3	1.7	2.2	1.5	1.8	1.7	2.2	1.5	1.7	0.3	0.4	0.1	0.3
Loreto	1.5	1.9	1.1	1.3	1.4	1.9	1.0	1.3	0.0	0.0	0.1	0.1	1.9	2.4	1.3	1.5	1.8	2.3	1.3	1.5	0.0	0.0	0.2	0.0	2.3	2.9	1.6	1.9	2.2	2.8	1.6	1.9	-0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016).

La Tabla 20 presenta la suma de los valores parciales de la tabla 17 con los valores de los dos modelos para cada horizonte (2030 y 2051) y el valor de la vulnerabilidad actual en cada municipio. La tabla 18 permite una visión de conjunto de lo que representa los resultados de los escenarios de cambio climático y su posible efecto en la vulnerabilidad actual.

Tabla 20 Escenarios de cambio climático y vulnerabilidad actual, horizontes al 2030, 2041 y al 2051

Municipio	Horizonte futuro 2030				Horizonte futuro 2041				Horizonte futuro 2051				Vulnerabilidad actual
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR		HADGEM2-ES		MPI ESMLR		HADGEM2-ES		MPI ESMLR		
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	
Ensenada	8	8	8	9	9	9	9	8	9	9	7	8	0.21
Mexicali	9	9	7	8	9	9	7	7	9	9	6	7	1.00
Tecate	9	9	7	8	9	9	7	7	9	9	6	7	0.65
Tijuana	8	9	7	8	9	9	6	7	8	9	5	7	0.35
Playas de Rosarito	8	9	7	8	9	9	6	7	8	9	5	7	0.57
Comondú	8	8	7	8	8	8	7	6	8	7	6	6	0.54
Mulegé	8	8	9	9	8	8	7	8	9	7	7	8	0.85
La Paz	7	7	7	9	6	7	7	7	5	7	4	7	0.34
Los Cabos	7	7	7	9	5	7	7	7	5	7	5	7	0.40
Loreto	8	8	9	9	8	8	7	8	9	7	7	7	0.00

Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016).

El segundo paso del análisis de la vulnerabilidad futura incluyó los resultados del análisis del valor futuro del agua. Para el valor futuro del agua, se proyectó el valor de producción de agua por m³ asignando un valor de 3 para Ensenada por ser el valor más alto (29 \$/m³), un valor de 2 para Tecate por ser el segundo valor más alto (24 \$/m³) y el resto de los municipios con valores que no rebasa los 12 \$/m³ presentan un valor de 1. En cuanto al costo social de agua por ingreso, debido a que éste fue estimado a nivel regional y no municipal se usó como proxy el tamaño de la población de los municipios (mayor población se traduce en un mayor número de personas en los deciles de ingreso bajo). Por ello se asignó un valor de 3 a los municipios que concentran la mayor población (Ensenada, Mexicali y Tijuana), un valor de 2 para los de población media (Tecate, Playas de Rosarito, La Paz y Los Cabos), y un valor de 1 para el resto.

La tabla 19 presenta el conjunto de los valores de las cinco variables usados para estimar la vulnerabilidad futura. La adición de esos valores permitió conformar un índice cuya escala es: 5-8 (decrece), 9-11 (se mantiene) y 12-15 (crece).

Tabla 21 Vulnerabilidad futura, horizonte al 2030

Municipio	Horizonte futuro 2030				Población 2030	Costo futuro del agua 2030	Vulnerabilidad futura 2030			
	HADGEM2-ES		MPI ESMLR				HADGEM2-ES		MPI ESMLR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Ensenada	8	8	8	9	3	3	14	14	14	15
Mexicali	9	9	7	8	3	1	13	13	11	12
Tecate	9	9	7	8	2	2	13	13	11	12
Tijuana	8	9	7	8	3	1	12	13	11	12
Playas de Rosarito	8	9	7	8	2	1	11	12	10	11
Comondú	8	8	7	8	1	1	10	10	9	10
Mulegé	8	8	9	9	1	1	10	10	11	11
La Paz	7	7	7	9	2	1	10	10	10	12
Los Cabos	7	7	7	9	2	1	10	10	10	12
Loreto	8	8	9	9	1	1	10	10	11	11

Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016), CONAPO (2014), IMTA/SEMARNAT (2016).

El Mapa 1 y el Mapa 2 presentan el resultado del análisis de la vulnerabilidad futura a nivel municipal para los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESMLR para el RCP 4.5 y 8.5 para el horizonte 2030. Los resultados del análisis muestran a Ensenada con el valor más alto de vulnerabilidad futura según el modelo HADGEM2-ES para el RCP 4.5, seguido de cerca de Mexicali en ese mismo modelo y RCP, aunque las causas subyacentes de esa vulnerabilidad son diferentes en cada municipio. El mapa 1 compara los resultados de los dos modelos (HADGEM2-ES y MPI-ESMLR) para el RCP de 4.5 para el horizonte 2030. El mapa muestra que los resultados del modelo HADGEM2-ES da valores de alta exposición a los 5 municipios del estado de Baja California, mientras que el modelo MPI-ESMLR da valores de exposición futura media para todos los municipios, excepto en el caso de Ensenada. Por su parte, los dos

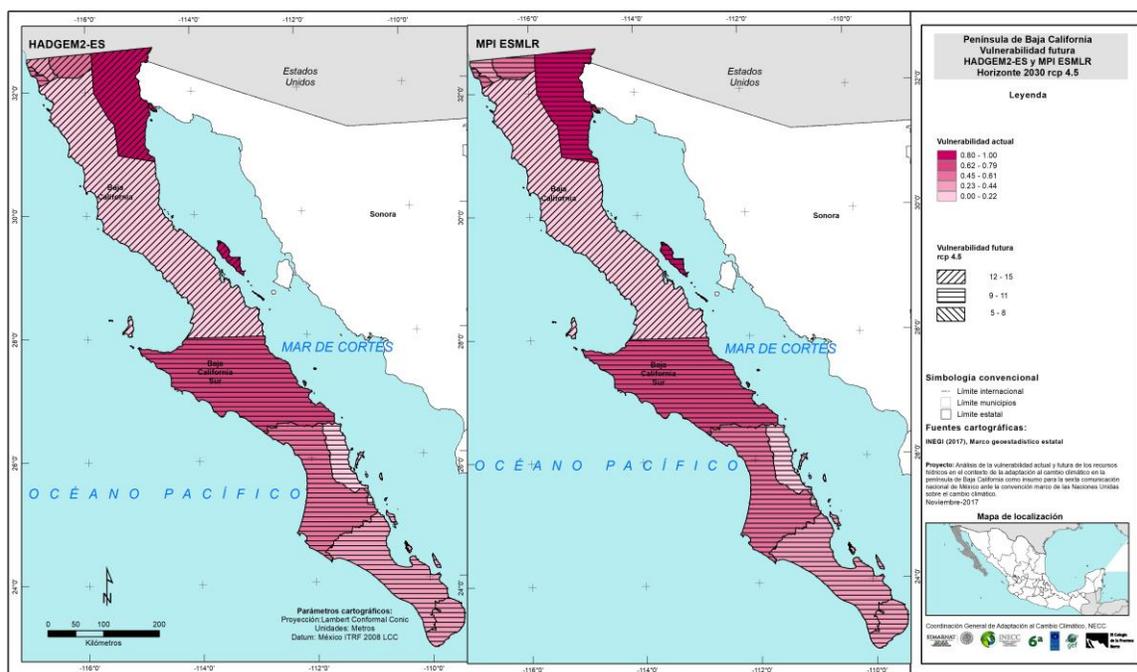
modelos dan valores medios de exposición futura en todos municipios de Baja California Sur. Ensenada destaca con la vulnerabilidad futura más alta en los dos modelos y Mexicali como el segundo valor más alto. El crecimiento de población es elevado en los dos municipios, pero el valor futuro del agua es significativamente menor en Mexicali comparado con Ensenada. A pesar de que la vulnerabilidad actual es más elevada en Mexicali que en Ensenada, los resultados del análisis muestran un cambio en el nivel de vulnerabilidad al tomar en cuenta las variables futuras. Los otros tres municipios de Baja California tienen valores de la vulnerabilidad futura superiores a los cinco municipios de Baja California Sur en los resultados de los dos modelos debido a un mayor crecimiento futuro de su población y un mayor valor económico futuro del agua.

El tercer municipio con mayor valor de vulnerabilidad es Tecate que contaba con una vulnerabilidad actual media alta y una exposición futura alta. Su crecimiento de población y el costo del agua al 2030 tienen un valor medio. Le sigue Tijuana con una vulnerabilidad actual media y una exposición futura alta en los dos modelos. A pesar de que su crecimiento de población futuro es alto, el valor futuro del agua es bajo. Playas de Rosarito es municipio de Baja California con el valor de vulnerabilidad futura más bajo. Tiene una vulnerabilidad actual media alta y una exposición futura alta, pero su crecimiento de población futura es medio y el valor futuro del agua es bajo.

Los municipios de Baja California Sur presentan menores valores de vulnerabilidad futura por tener una exposición futura media en los dos modelos, bajos valores para el crecimiento de población futura y para el valor futuro del agua. Los cinco municipios tienen valores muy similares. Comondú tiene un valor de vulnerabilidad actual alto. Su crecimiento de población futuro y el valor futuro del agua es bajo, pero su exposición futura es ligeramente superior a los otros municipios en los dos modelos por lo que su vulnerabilidad futura tiene un valor medio, pero ligeramente superior a los otros municipios de ese estado. Le sigue Mulegé, La Paz, Los Cabos y Loreto de acuerdo con sus valores de vulnerabilidad futura. El crecimiento de población futuro tiene valores medios únicamente en La Paz y Los Cabos, mientras que Mulegé y Loreto tienen valores bajos. El valor futuro del agua es bajo en los cuatro municipios (ver tabla 19 y mapa 1).

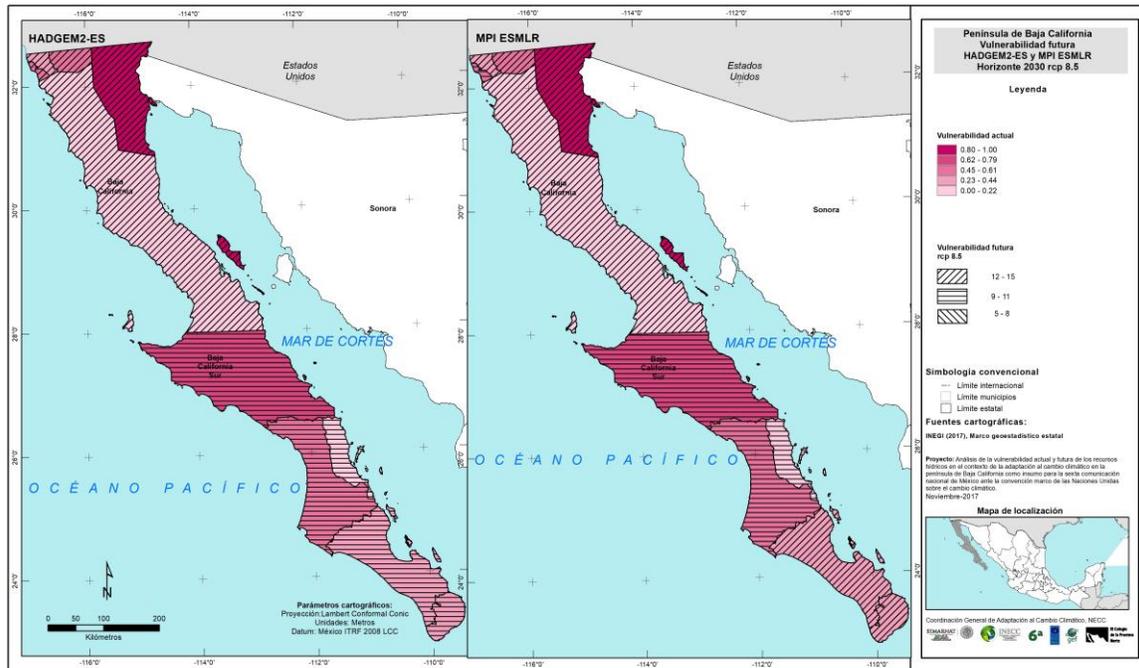
La comparación de los valores de los dos modelos para el horizonte 2030 con un RCP de 8.5 (mapa 2) muestra resultados similares a los arriba descritos para un RCP de 4.5. Ensenada continúa siendo el municipio con vulnerabilidad futura más alta, seguido de Mexicali, Tecate, Tijuana y Playas de Rosarito, mientras que los municipios en Baja California Sur mantienen el mismo orden en vulnerabilidad futura al arriba mencionado con un RCP 4.5. Una diferencia notable en el RCP 8.5 es que todos los municipios de Baja California tienen una exposición futura alta en los dos modelos y los municipios de Baja California Sur una exposición futura media. Este cambio no afecta los valores de vulnerabilidad futura arriba mencionados para un RCP 4.5.

Mapa 1 Vulnerabilidad actual y futura horizonte 2030, RCP 4.5



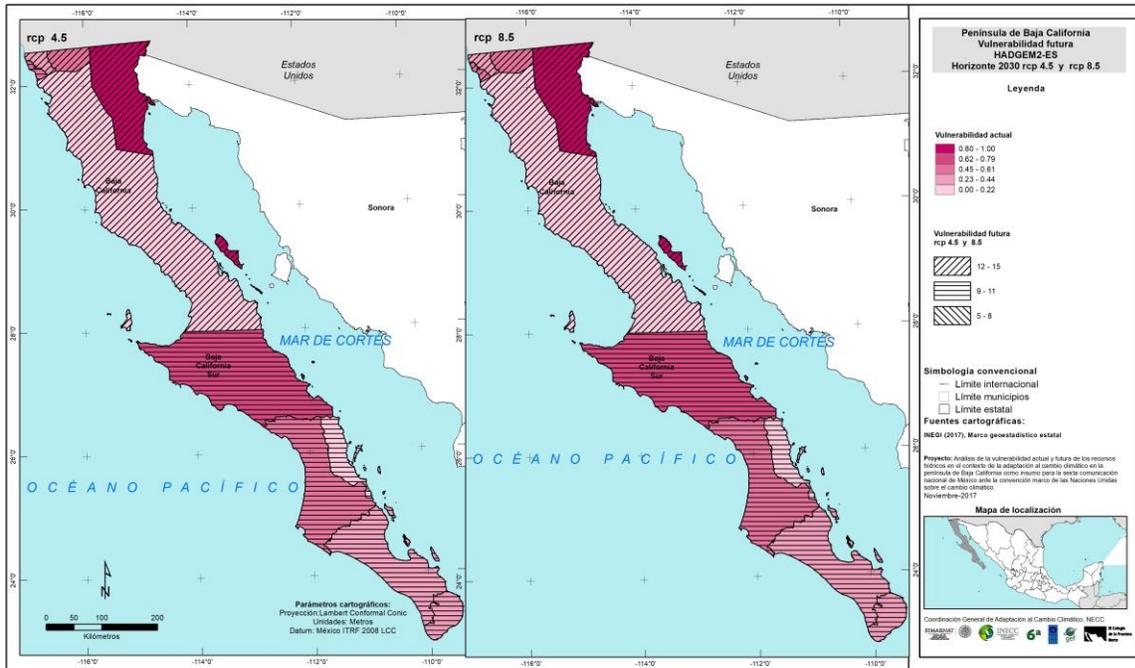
Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016), CONAPO (2014), IMTA/SEMARNAT (2016).

Mapa 2 Vulnerabilidad actual y futura, horizonte 2030, RCP 8.5



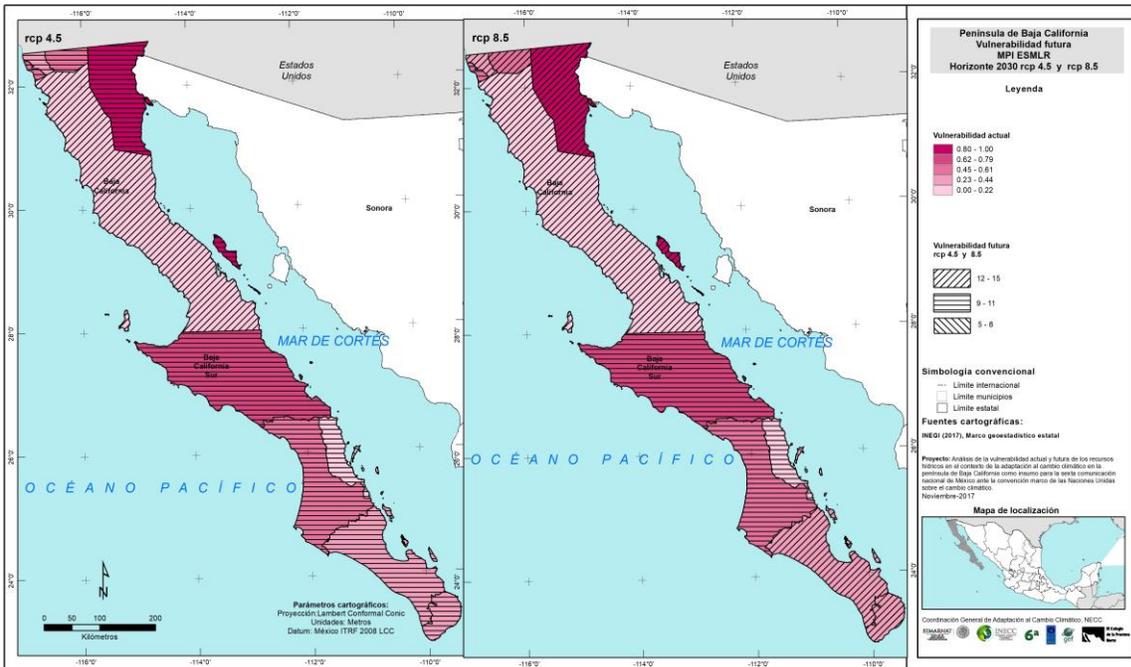
Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016), CONAPO (2014), IMTA/SEMARNAT (2016).

Mapa 3 Vulnerabilidad actual y futura horizonte 2030, modelo HADGEM2-ES RCP 4.5 y 8.5



Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016), CONAPO (2014), IMTA/SEMARNAT (2016).

Mapa 4 Vulnerabilidad actual y futura horizonte 2030, modelo MPI ESMLR, RCP 4.5 y 8.5



Fuente: elaboración propia con base en INECC (2016), CONAPO (2014), IMTA/SEMARNAT (2016).

El Mapa 3 y el Mapa 4, presentan la misma información de los mapas 1 y 2 pero agrupados por modelo para facilitar la visualización de los resultados. El análisis de la vulnerabilidad futura no incluyó los horizontes 2041 y 2051 porque CONAPO no proyecta población a nivel municipal a ese horizonte.

2.14. Discusión

El análisis de la vulnerabilidad actual realizada en la sección anterior de este trabajo identifica a Mexicali como el municipio con mayor vulnerabilidad en la PBC. Al considerar las causas subyacentes en las cuatro dimensiones del análisis de vulnerabilidad se encuentra valores altos de exposición, sensibilidad, un valor medio bajo en evidencia de daño y una capacidad adaptativa media. El peso del componente de sensibilidad y de exposición es particularmente importante en el caso de Mexicali y refuerza varias de las conclusiones del diagnóstico

realizado por el proyecto. A pesar de ser municipio con mayores recursos hídricos, Mexicali enfrenta serios problemas en la gestión de esos recursos. Por ejemplo, las concesiones de agua al sector industrial (incluye comercio y servicios de acuerdo con la clasificación de la CONAGUA) es el doble del volumen de agua concesionado al sector urbano. Destacan también los problemas de calidad de agua en ese municipio, la sobreexplotación del agua subterránea y la sensibilidad de los ecosistemas. Este último aspecto es preocupante dada la tendencia mostrada en el análisis de la exposición a un incremento de la temperatura y la brecha hídrica en el municipio que puede agravar la competencia por el agua en detrimento de los ecosistemas. Los elevados valores de exposición en Mexicali son un aspecto que también lo distingue de otros municipios en Baja California al estar localizado en una zona árida. Esto refuerza la necesidad de diseñar e implementar un manejo más sustentable del agua en el corto plazo.

El segundo valor de vulnerabilidad más alto corresponde al municipio de Mulegé, debido a su valor alto en el índice de sensibilidad (sistema social y ecosistemas), valor cero en capacidad adaptativa y valor medio bajo en evidencia de daño. Debido a que el municipio cuenta con pocos habitantes y actividades económicas comparado con otros municipios en la región, en este municipio pesa sobre todo su baja capacidad adaptativa y el fuerte peso de la sensibilidad social de los habitantes actuales y los ecosistemas. Mulegé junto con Mexicali cuentan con la mayor concentración de sitios de valor ecológico de acuerdo con la clasificación de la CONABIO, sitios Ramsar y reservas de agua de alto valor estratégico de acuerdo con la CONAGUA. El tema de la alta sensibilidad de los ecosistemas es particularmente importante en Mulegé. Políticas orientadas a la protección de esos ecosistemas ayudará a reducir la vulnerabilidad en este municipio.

Los municipios que cuentan con un valor medio alto de vulnerabilidad, Tecate (0.65), Rosarito (0.57) y Comondú (0.54), tienen diferentes causas. El análisis de las causas subyacentes de la vulnerabilidad muestra esas diferencias. En Tecate el alto rango de exposición contrasta con una sensibilidad media, capacidad adaptativa media y evidencia de daño media baja. Tecate es un municipio con una brecha hídrica importante y en donde la exposición muestra tendencias ascendentes en las temperaturas. A pesar de ser un municipio relativamente pequeño en términos de población, requiere atención para reducir su alta vulnerabilidad. Playas de Rosarito tiene una condición particular por su alta exposición, baja capacidad adaptativa y sensibilidad

media baja. Existe el proyecto de construir una planta desaladora en ese municipio para reducir su brecha hídrica y en particular para reducir la de Tijuana. Ese proyecto ha sido fuertemente debatido en el congreso del Estado de Baja California por su elevado costo y es difícil estimar su viabilidad futura. Una fuente alterna de agua para Rosarito es el reciclaje de agua tratada, en particular en el sector industrial, que ayudaría a reducir su vulnerabilidad. El Caso de Comondú es interesante dado su valor de exposición medio bajo, baja capacidad adaptativa pero alta evidencia de daño y media alta sensibilidad.

A pesar de contar con fuentes de agua subterránea y baja población, el peso de la agricultura en el consumo de agua del municipio hace pensar que la estrategia para reducir su vulnerabilidad tendría que dar mayor atención a un uso más eficaz del agua en ese sector en el corto plazo. Los municipios con valores de vulnerabilidad medio Tijuana (0.35), La Paz (0.34) y Los Cabos (0.40) tienen también causas diferentes. Destacan los elevados valores de exposición en Tijuana y La Paz y sólo medio bajo en Los Cabos. Tijuana es el segundo valor más bajo en su sensibilidad y un valor medio alto en su capacidad adaptativa lo que le ayuda a no tener un mayor índice de vulnerabilidad a pesar de su elevada evidencia de daño. Le ayuda también contar con un organismo operador eficaz y con una planeación a futuro. La dependencia de Tijuana al agua del Río Colorado es factor importante para tener en cuenta en la siguiente etapa considerando los escenarios del cambio climático.

La Paz tiene una muy elevada capacidad adaptativa y evidencia de daños que contrastan con su sensibilidad media baja y exposición media alta. El diseño de acciones para reducir su vulnerabilidad puede orientarse a potenciar el reciclaje de agua aprovechando su capacidad instalada. Los Cabos tiene elevada sensibilidad que incluye la sensibilidad de ecosistemas, pero tiene también elevada capacidad adaptativa y baja exposición y evidencia de daños media. Reducir la vulnerabilidad en ese municipio requiere dar atención a la sensibilidad de ecosistemas y la creciente demanda de agua en la actividad turística. Los municipios con valores de vulnerabilidad baja son Ensenada (0.21) y Loreto (0.0). Ensenada tiene muy baja exposición y sensibilidad media. Le ayuda una capacidad adaptativa media alta y una evidencia de daños media. Aspectos relevantes para reducir su vulnerabilidad incluyen una gestión más eficaz del agua, en particular para mejorar la baja brecha operativa en el municipio, reducir la sobre explotación de los acuíferos y mejorar la calidad del agua y aprovechar el reciclaje de agua como un recurso potencial para reducir la presión sobre los acuíferos. Loreto es el

municipio con valor de cero en el análisis de la vulnerabilidad. Es importante aclarar que no implica que no sea vulnerable, pero que es menos vulnerable comparado con el resto de los municipios en la PBC. Loreto cuenta con pocos habitantes y suficientes recursos hídricos por lo que no cuenta con una brecha hídrica y CONAGUA espera que ésta no crecerá en el horizonte 2030. Su exposición es baja, su sensibilidad muy baja, su evidencia de daños media y su capacidad de adaptación media. Elementos que ayudaría a Loreto a no crear una mayor vulnerabilidad es atención a una gestión eficaz del agua.

Los datos y la información disponible no permiten un análisis detallado de las causas subyacentes similar al realizado para el análisis de la vulnerabilidad actual, en particular en el caso de la sensibilidad y la capacidad adaptativa y desde luego no hay evidencias de daños. La fortaleza del análisis de la vulnerabilidad futura es la dimensión de exposición con el apoyo de elemento puntuales que si se pueden considerar a futuro (horizonte del 2030) con un rango de confianza aceptable con la información disponible (crecimiento futuro de la población y valor económico futuro del agua). El estudio de los escenarios de cambio climático y su posible impacto en el agua renovable en la región son una herramienta particularmente útil que contribuye a tener una visión a futuro del problema del agua en la región.

Los resultados de ese análisis realizado en esta sección del proyecto muestran que los problemas de la gestión del agua descritos y documentados a lo largo del proyecto tenderán a agravarse en las próximas décadas. Los escenarios de cambio climático muestran que los incrementos en la temperatura media global para los horizontes 2030, 2041 y 2051, en la mayoría de las estimaciones para la Península de Baja California, serían relativamente superiores al incremento medio global. Los escenarios de cambio climático muestran un decremento en la precipitación diaria para la Península de Baja California. Es relevante observar que decrementos en la precipitación, acompañados de incrementos en la temperatura, tendrán un efecto negativo en la recarga de los acuíferos, así como en la escorrentía de agua superficial, ocasionando una reducción en la disponibilidad natural media de agua. Particularmente importante es la disminución en el volumen de agua renovable por habitante. El resultado de las estimaciones (2000-2015) y las proyecciones (2030, 2041 y 2051) del volumen de Agua Renovable por habitante (ARh) muestran una reducción importante en la Península de Baja California para el período 2000 y 2015 (de 1610 a 1115 hm³/habitante/año). A nivel entidad federativa se muestran diferencias importantes entre BC y BCS: la situación de

la primera es aún más grave puesto que cuenta con un volumen menor de ARh, mismo que se ha reducido por arriba de la media nacional al pasar de 1047 a 858 hm³/habitante/año entre 2000 y 2015; BCS cuenta con un volumen de ARh mayor que el reportado por la RHA1, pero aún debajo del nacional. Esa disminución está asociada al incremento en la demanda de agua por el crecimiento poblacional y la actividad económica, esa es la razón de que el decremento de ARh sea menor en BCS. Los resultados del proyecto muestran que aún con un escenario de reducción del volumen de agua renovable per cápita (m³/hab/año) del 2% (bajo) para los horizontes 2030, 2041 y 2051, a nivel regional llega a ser significativo el decremento para los horizontes 2041 y sobre todo 2051. Los valores para los escenarios medio (4%) y alto (8%) dejan ver a una agudización de la crisis de agua. Las diferencias a nivel de entidad federativa son relevantes. Arriba mencionamos que Baja California presenta una situación de estrés hídrico aún sin tomar en cuenta las tendencias en los escenarios de cambio climático en las próximas décadas (incrementos en la temperatura máxima y mínima, acompañados de decrementos en la precipitación).

Los resultados bajo los escenarios de reducción de ARh medio (4%) y alto 8 (%) son particularmente graves antes de la década del 2030 y pueden llegar a una situación muy crítica para un escenario alto en el 2051 (menos de 600 m³/hab/año comparado con cerca de 880 m³/hab/año en el 2015). Las condiciones particulares de Baja California Sur (baja población) hacen que las diferencias en los valores bajo en los tres escenarios sean menores que en Baja California, pero pueden presentar una situación de mayor estrés hídrico en los municipios con mayor población y actividad económica (La Paz y Los Cabos) a partir del horizonte a 2030. Esta diferencia entre los dos estados se muestra en la brecha entre la curva de oferta y demanda arriba mencionada.

La demanda es actualmente superior a la oferta en Baja California y esa brecha se incrementa en 2030, mientras que en Baja California Sur la curva de oferta es superior a la demanda y esa relación se mantiene sin cambio al proyectarla a ese mismo horizonte. Al considerar la relación entre el Producto Interno Bruto por sectores económicos y volumen de agua concesionada para el período 2004-2015 (hm³/millones de pesos) se presentan los siguientes resultados. A nivel nacional muestra una relación estable durante este periodo mientras que nivel regional en la Península de Baja California hay una reducción relevante en esa relación al comparar el valor del 2004 y el de 2015. A nivel de entidad federativa sólo hay datos disponibles a partir del 2007,

pero al comparar los valores de ese año con los del 2015 se aprecia también una reducción importante en esa relación en Baja California y Baja California Sur, aunque Baja California muestra una mayor variación en esa relación. Esos resultados muestran que un mayor volumen de agua concesionado no ha resultado en un incremento en el PIB. La relación entre volumen de agua concesionado y PIB en el sector agrícola son particularmente preocupantes comparado con los otros sectores económicos y refuerzan una de las conclusiones que emergen de diferentes partes del proyecto: la urgente necesidad de cambios en ese sector que consume la mayor parte de los recursos de agua en la región hacia un sector más eficiente y una selección de cultivos considerando el impacto del cambio climático.

En cuanto al impacto social, el proyecto no encontró una asociación estadística robusta en la relación de volumen de agua concesionado y la morbilidad y mortalidad causada por enfermedades asociadas al consumo de agua. Pero se evidencia un impacto social en el ingreso al documentar que los grupos sociales en los deciles de menor ingreso destinan una proporción mayor de su gasto para tener acceso al agua, particularmente a partir del 2008. Ese análisis muestra que el costo del agua para los menores ingresos se ha incrementado de manera importante en la última década (2004-2014). La caída en el agua renovable mencionado arriba, en particular bajo los escenarios de cambio climático, hacen prever una mayor competencia por el agua y un mayor impacto para los grupos sociales de bajos ingresos.

En este sentido es importante tomar en cuenta aspectos adicionales que hacen prever un mayor impacto social: 1) la tendencia ascendente en el valor del agua durante la última década y el incremento proyectado al 2030 en Ensenada y Tecate; 2) la ausencia de estrategias para fortalecer a los organismos operadores que ayude a mejorar su situación actual, en particular en los municipios más pequeños los cuales cuentan con una menor cantidad de recursos financieros y operativos; 3) la falta de una planeación de corto, mediano y largo plazo inclusiva del costo social diferenciado entre grupos sociales en la Península de Baja California. La caída a niveles críticos en el volumen de agua renovable en los escenarios de cambio climático arriba mencionados es también particularmente grave para el uso ecológico del agua. La poca atención que se ha dado hasta ahora para el uso de agua en la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas se agudiza en el contexto de una disminución del agua y una mayor competencia para su acceso. Estrategias de adaptación al cambio climático en la península deben reconocer la urgente necesidad de garantizar la asignación de volúmenes de

agua para uso ecológico. El análisis de la vulnerabilidad futura ayuda a identificar algunos cambios en la vulnerabilidad actual. Arriba mencionamos que Mexicali se distingue como el municipio con mayor vulnerabilidad actual. Los dos pasos realizados en el análisis de la vulnerabilidad futura ayudan a distinguir las causas de esos cambios en la vulnerabilidad. Al considerar únicamente los escenarios del cambio climático (primer paso) Mexicali, Comondú, Tecate y Mulegé se distinguen del resto de los municipios en la región por sus valores más elevados. Los resultados cambian al incluir en el análisis de la vulnerabilidad futura el valor futuro del agua y el costo social por ingreso. Al tomar en cuenta el conjunto de esas variables, Ensenada aparece con el valor más alto seguido de cerca por Mexicali y Tecate.

El análisis realizado en los dos pasos del método usado por el proyecto ayuda a tener mayor claridad de las causas subyacentes de la vulnerabilidad futura. Resaltan, por ejemplo, la necesidad de controlar la tendencia ascendente en el valor económico del agua en Ensenada el cual es muy superior al que presentan la mayor parte de los otros municipios. El análisis de la vulnerabilidad futura refuerza la importancia de tomar acciones en el corto plazo para lograr un manejo sustentable del agua. La caída a niveles críticos en el volumen de agua renovable a futuro es particularmente preocupante en la Península de Baja California, pero crítico en el caso del Estado de Baja California. El análisis de las causas subyacentes de la vulnerabilidad actual ayuda a trabajos subsecuentes puedan identificar con mayor detalle en qué sectores y cuáles acciones pueden llevarse a cabo para reducir la vulnerabilidad actual y futura y crear un proceso de adaptación que contribuya a la gestión sustentable del agua.

El enfoque utilizado en el estudio de la vulnerabilidad en este proyecto fue desarrollado para fortalecer el carácter analítico de ese concepto y facilitar usar sus resultados como una herramienta operativa en el diseño de política pública y acciones de la sociedad para reducir la vulnerabilidad al cambio climático en la gestión del agua. Es un enfoque que puede ayudar a municipios en otras partes del país a lograr una base analítica para la toma de decisiones en un sector estratégico para México no sólo actualmente, pero sobre todo en el contexto del cambio climático. La información arriba presentada ilustra la capacidad analítica del concepto de vulnerabilidad en el contexto del cambio climático en la Península de Baja California. Es importante resaltar la urgente necesidad de crear procesos de adaptación para reducir la vulnerabilidad actual y futura y prevenir el impacto negativo del cambio climático en los recursos hídricos en la región. Aún en el caso de municipios con bajos valores de

vulnerabilidad, no implica que la adaptación no debe ser una prioridad en esos municipios. Los valores en el índice de vulnerabilidad son comparativos con respecto a los otros municipios en la península y es un instrumento analítico en apoyo a un mejor conocimiento del tema del agua en el contexto del cambio climático y en apoyo a la formulación de política pública. Los resultados del análisis de la vulnerabilidad actual y futura muestran que las causas subyacentes de la vulnerabilidad varían significativamente en los 10 municipios de la península y que cada caso requiere estrategias particulares para reducir esa vulnerabilidad. Esto refleja la importancia del contexto en el estudio de la vulnerabilidad. Es importante resaltar que una conclusión relevante del análisis de la vulnerabilidad es la brecha que existe en la información disponible en los documentos oficiales a nivel federal (Programa Hídrico Regional de la Región Hídrica 1) y estatal (Programa Hídrico Estatal de Baja California Sur y Plan Estatal de Agua de Baja California) y en las bases de datos a nivel federal de variables útiles al análisis de la gestión del agua en el contexto del cambio climático. Las diferentes etapas de este proyecto buscar actualizar y expandir las capacidades estatales y municipales para lograr una gestión sustentable del agua en la Península de Baja California.

La conclusión inevitable del proyecto es que la Península de Baja California requiere dar atención a la gestión sustentable de sus recursos hídricos de forma inmediata. El proyecto documenta evidencias de una posible crisis de agua. Sus resultados resaltan la importancia de mejorar y trascender el modelo actual de gestión del agua en México basado en reducir la escasez a través de un incremento en la oferta de agua, así como mejorar la eficiencia económica en el manejo del agua. La gestión del agua debe de estar enmarcada en el contexto de una planeación de largo plazo orientada a lograr la sustentabilidad del recurso, inclusiva del cambio climático y de los costos sociales y ecológicos no considerados hasta ahora. Lograr estos cambios no es una tarea sencilla, pero es un deber ineludible. Los resultados de este proyecto son una contribución en este sentido.

Referencias

- Christensen, N. S., & Lettenmaier, D. P. (2007). *Hydrology and Earth System Sciences A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin*. *Hydrol. Earth Syst. Sci* (Vol. 11). Recuperado a partir de www.hydro-earth-syst-sci.net/11/1417/2007/
- Christensen, N., Wood, A., Voisin, N., Lettenmaier, D., & Palmer, R. (2004). *The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin*. *Climatic Change*, (62), 337–363.
- CONAGUA. (1999). *Compendio Básico del Agua en México, edición 1999*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2001). *Compendio Básico del Agua en México, edición 2001*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2002). *Compendio Básico del Agua En México, edición 2002*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2003). *Estadísticas del Agua en México, edición 2003*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2005). *Estadísticas del Agua en México, edición 2005*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2006). *Estadísticas del agua en México, edición 2006 (Vol. Cuarta edi)*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2008). *Estadísticas del Agua en México, edición 2008 (Vol. Primera ed)*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>

- CONAGUA. (2010). *Estadísticas del Agua en México, edición 2010*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. <https://doi.org/978-968-817-895-9>
- CONAGUA. (2013). *Estadísticas del Agua en México, edición 2013*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2014a). *Estadísticas del Agua en México, edición 2014 (Vol. 2014)*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- CONAGUA. (2014b). *Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>
- CONAGUA. (2015). *Estadísticas del Agua en México, edición 2015*. Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México, Edición 2016. Publicaciones Estadísticas y Geográficas*. SINA. <https://doi.org/978-968-817-895-9>
- CONAPO. (2014). *Proyecciones de la Población 2010-2050*. Recuperado el 17 de julio de 2017, a partir de <https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/proyecciones-de-la-poblacion-2010-2050>
- Constantino, R., Carrillo, G., Muñoz, C., & Morales, E. (2011). *Estudio N° 3 La situación de los recursos hídricos en México y el contexto institucional de la eficiencia en su aprovechamiento. En Eficiencia en el uso de los recursos en América Latina: Perspectivas e implicancias económicas. Estudios de caso Mercosur, México y Chile (p. 251)*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)/ Red Mercosur. Recuperado a partir de <http://www.redsudamericana.org/recursos->

naturales-desarrollo/eficiencia-en-el-uso-de-los-recursos-en-américa-latina

Gleick, P., & Chalecki, E. (1999). The impact of climate change for water resources of the Colorado and Sacramento-San Joaquin river basins. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6), 1429–1441. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb04227.x>

IMTA/SEMARNAT. (2016). Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores. Recuperado el 14 de enero de 2017, a partir de <http://www.pigoo.gob.mx/>

INECC. (2016). Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0°C y las implicaciones para la República Mexicana. Ciudad de México: Producto de la Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

INEGI. (s/f-a). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH). Recuperado el 15 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/regulares/enigh/tradicional/2014/default.html>

INEGI. (s/f-b). Sistema de Cuentas Nacionales de México. Recuperado el 17 de febrero de 2017, a partir de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/>

Kopytkovskiy, M., Geza, M., & McCray, J. E. (2015). Climate-change impacts on water resources and hydropower potential in the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 473–493. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2015.02.014>

Northon, K. (2014). Satellite Study Reveals Parched U.S. West Using Up Underground Water. Recuperado a partir de <https://www.nasa.gov/press/2014/july/satellite-study-reveals-parched-us-west-using-up-underground-water/#.VXo1brqsD8k>

Northon, K. (2015). Study: Carbon Emissions Could Increase Risk of U.S. Megadroughts. Recuperado a partir de <https://www.nasa.gov/press/2015/february/nasa-study-finds-carbon-emissions-could-dramatically-increase-risk-of-us>

Pathak, T., Maskey, M., Dahlberg, J., Kearns, F., Bali, K., & Zaccaria, D. (2018). Climate

Change Trends and Impacts on California Agriculture: A Detailed Review. Agronomy, 8(3), 25. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030025>

Secretaría de Salud. (2015a). *Anuarios de Morbilidad 1984 - 2017*. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/anuarios-de-morbilidad-1984-2017>

Secretaría de Salud. (2015b). *Información Epidemiológica - Publicaciones de Mortalidad*. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/informacion-epidemiologica-publicaciones-de-mortalidad>

SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. D.F. Recuperado a partir de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_2.html

Soto, R., López, Á., García, R., Escoboza, L., Avilés, S., & Roman, J. (2013). *Diagnóstico agrícola en Baja California y propuestas de adaptación ante el cambio climático*. En M. Quintero (Ed.), *Baja California ante el embate del cambio climático* (pp. 233–250). Baja California: Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/236222020_Diagnostico_agricola_en_Baja_California_y_propuestas_de_adaptacion_ante_el_cambio_climatico

IV. PRINCIPALES RESULTADOS DEL PROYECTO

El acceso y la gestión del agua es señalado por la comunidad internacional como uno de los problemas de mayor impacto para el desarrollo de las sociedades (OECD, 2015). El último reporte del IPCC subraya que el cambio climático disminuirá significativamente el agua superficial y subterránea renovable en la mayoría de las regiones áridas subtropicales; el cambio climático posiblemente incrementará la frecuencias de la sequía meteorológica y la sequía agrícola (menos humedad en el suelo) en las regiones áridas; probablemente se incrementará la frecuencia de sequías hidrológicas cortas (menos agua superficial y subterránea) en esas regiones; de igual forma se proyecta que el cambio climático reducirá la calidad del agua creando riesgos para el agua potable, aún en el caso de los sistemas con tratamientos convencionales (Jiménez Cisneros et al., 2014).

Este es un problema particularmente importante para México. El Programa Nacional Hídrico 2014-2018 menciona que las ineficiencias en el uso del agua son del 50% y considera que las variaciones de la temperatura y la precipitación entre 2013 y 2030 se intensificarán afectando al sector hídrico (disponibilidad de agua superficial y subterránea) (SEMARNAT & CONAGUA, 2014). Este escenario confiere un papel central a la planeación de mediano y largo plazo en la gestión del agua tomando en cuenta al cambio climático. El esquema de planeación hídrica de corto, mediano y largo plazo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se sustenta en la Agenda del Agua 2030 y el centro de la planeación de esa Agenda es el Análisis Técnico Prospectivo (ATP) que tiene como objeto identificar la brecha entre la oferta y la demanda sustentable del agua en las próximas décadas. El ATP analiza alternativas de solución y estima sus costos para orientar las decisiones de inversión en el sector a nivel nacional, regional y estatal. Para ello analiza las acciones que considera técnicamente factibles, con mayor rentabilidad por su costo, que permiten cerrar la brecha hídrica estimada.

El modelo de gestión hídrica adoptado por CONAGUA se basa en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos (GIRH) que es incorporado en la Ley de Aguas Nacionales de manera clara en la planeación hídrica (Hernández, 2016). CONAGUA retoma los lineamientos de la GIRH particularmente a través de la Agenda del Agua 2030 arriba mencionada que da sustento a los Programas Hídricos Regionales Visión 2030 y, éstos a su vez a los Programas Hídricos

Estatales Visión 2030. El enfoque de CONAGUA en sus programas hídricos, al igual que la GIRH, tienen un enfoque de escasez (brecha hídrica) a ser resuelta a través de estrategias y acciones técnicas con mayor eficiencia económica. En el proyecto se documentan las limitaciones del modelo de la GIRH dominante en la gestión del agua y que se caracteriza por un enfoque de explotación de los recursos hídricos para la satisfacción de las crecientes demandas a través de la inversión en infraestructura hidráulica a gran escala. El modelo enfatiza soluciones políticas, financieras y técnico-operativas (Medema & Jeffrey, 2005; Pahl-Wostl, 2007; Pahl-Wostl, Kabat, & Möltgen, 2008). En el caso de las limitantes en el modelo de gestión del Agua de CONAGUA en la Península de Baja California destacan dos aspectos relevantes para los objetivos de este proyecto: 1) los programas hídricos regionales y estatales creados a partir de la Agenda del Agua 2030 no han incorporado los escenarios del cambio climático como un aspecto relevante en su planeación de mediano y largo plazo; 2) esos programas no dan atención a las prioridades políticas, sociales, económicas, ambientales y culturales de cada contexto (el mismo esquema es usado en el orden nacional, regional y estatal).

Tomar en cuenta el modelo de gestión del agua adoptado por CONAGUA en México crea un contexto útil para entender los problemas actuales y futuros del agua en la Península de Baja California, en particular en el contexto del cambio climático. La Península de Baja California es la segunda región hídrica con menor disponibilidad de agua per cápita en el país sólo detrás de la región del Valle de México debido a la enorme concentración de población en esa región. El proyecto documenta que la gestión del agua en la Península de Baja California es limitada y enfrenta una serie de problemas que son evidencia de crisis en algunos sectores y con fuertes posibilidades de extenderse a otros en el corto plazo y en el mediano plazo. El diagnóstico del proyecto muestra que esas crisis son el resultado de la falta de políticas y estrategias de acción eficaces, inclusivas y sostenibles para la gestión del agua a lo largo del crecimiento poblacional y económico de la región. Destacan cuatro problemas centrales:

1) La falta de atención para obtener información confiable del estado de los recursos hídricos de la región, en particular de la cantidad de agua renovable en los acuíferos. Si bien este es un problema nacional, es extremadamente grave en el caso de la Región Hídrica 1 de la Península de Baja California por las condiciones climáticas actuales y futuras en la región que limitan de manera significativa la recarga de los acuíferos. Es particularmente importante

revertir la poca atención otorgada hasta ahora en la gestión del agua a nivel regional, estatal y municipal a entender cómo la variabilidad y el cambio climático puede afectar el volumen de agua renovable en la región.

2) La inexistencia de una estrategia para mantener control en la asignación de derechos de uso de agua en la región de acuerdo con la disponibilidad y el estado de los recursos hídricos, las políticas de desarrollo regional, estatal y municipal y una estrategia para la gestión sustentable del agua. El proyecto muestra que la región no sólo tiene una sobre asignación de derechos de uso del agua superior a la capacidad de recarga de los recursos hídricos disponibles que ha llevado a su sobreexplotación, pero también a una asignación poco equitativa y sustentable de los derechos de uso de agua. Resalta la inexistencia de derechos de uso de agua para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

3) La falta de una gestión eficaz de los recursos hídricos a nivel regional por parte de CONAGUA y a nivel estatal y municipal por parte de los estados de Baja California y Baja California Sur. La gestión de esos recursos muestra una transición incompleta del modelo de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) entre órdenes de gobierno. Los lineamientos de la GIRH están respaldados por el marco normativo de la Ley Nacional de Aguas y son parte importante del Programa Nacional Hídrico y en el Programa Regional Hídrico para la Región Hidrológica I de la Península de Baja California. Pero aún a nivel regional no hay una transición operativa de esos lineamientos y del orden regional al estatal. Los lineamientos son prácticamente inexistentes a nivel municipal.

4) La gobernabilidad del agua muestra poca atención y recursos en el nivel operativo más importante, pero a su vez el más frágil, el nivel municipal. La coordinación entre la federación y los estados es limitada en términos operativos y aún más en términos de planeación. La coordinación entre federación y los organismos operadores a nivel municipal es prácticamente inexistente en términos operativos y para efectos de planeación. La información del diagnóstico sobre la gestión del agua de los organismos operadores muestra fuertes limitantes para lograr una operación eficaz del recurso agua, en particular en los más pequeños y con menores recursos. La investigación no encontró evidencia a nivel municipal de la puesta en práctica de las estrategias y lineamientos de acción y planeación del programa regional y los programas estatales para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la Península de Baja

California. Los resultados del proyecto muestran que la eminente crisis de agua en la PBC es resultado en parte del fuerte desbalance en el uso del agua en la región y un manejo poco eficaz en los sectores con mayor consumo de agua en la región. El 80% del consumo de agua es de uso agrícola, 12% de uso público urbano-doméstico, 5% es usado por las termoeléctricas, 2% en el uso industrial y 1% tiene otros usos. Es importante destacar que el sector que consume la mayor parte del agua en la región, el agrícola, es el más ineficiente. La eficiencia promedio en el uso del agua de riego en la región es de solo 52%, es decir, prácticamente la mitad del agua destinada a la agricultura o cerca del 40% del agua en la región no es aprovechada.

Este es un serio problema para una región que cuenta con muy limitados recursos hídricos, varios de ellos se encuentran sobreexplotados y hay una creciente brecha entre la oferta y la demanda de agua renovable por habitante. El sector agrícola es además el sector con menor productividad en su uso de agua con una marcada diferencia con otros usos del agua. Los datos disponibles más recientes muestran que la productividad en el uso agrícola en 2008 fue de \$3.66 pesos/m³ mientras que en la generación de energía eléctrica fue de \$74.44 pesos/m³, de \$282.89 pesos/m³ en el sector secundario y de \$4,593.74 pesos/m³ en el sector terciario. Una conclusión importante del diagnóstico del proyecto es que la situación actual no es sustentable y que será fuente potencial de conflictos sociales, económicos, políticos y ambientales en el mediano y largo plazo. El desnivel en la asignación de volúmenes de agua es particularmente importante al tener en cuenta que la inmensa mayoría de la población y las actividades económicas que aportan la mayor parte del Producto Interno Bruto (PIB) en la región continúan creciendo, así como su demanda de agua.

El diagnóstico resalta que la región enfrenta la necesidad de encontrar un mejor balance en la distribución del agua entre usuarios en el corto plazo. Desgraciadamente no hay una estrategia a nivel regional o estatal para atender los fuertes desequilibrios en los usos del agua en la región a favor del sector agrícola; tampoco se da la atención necesaria para revertir la baja eficacia en el uso del agua en ese sector. Esas estrategias son particularmente importantes en el caso de la agricultura en el municipio de Mexicali, pero también incluye a los municipios de Comondú y Ensenada. El proyecto documenta que los cultivos dominantes en el distrito de riego 014 del Valle de Mexicali con un elevado consumo de agua, son cultivos que serán afectados por el cambio climático de acuerdo con un estudio reciente sobre el impacto del

cambio climático en la agricultura en California (Pathak et al., 2018). Esto implica que la adaptación al cambio climático debe contemplar no solo la distribución y el uso eficaz y sostenible del agua entre sectores, pero también cambios en el tipo de cultivos más rentables y resilientes tomando en cuenta las condiciones climáticas en las próximas décadas. Implica, además la imperiosa necesidad de diseñar estrategias para la gestión sustentable del agua en la región en el corto plazo. El desnivel en el uso del agua no solo es significativo entre sectores, pero también al interior de los sectores. El proyecto resalta en particular el desnivel en la asignación del agua para uso urbano en el municipio de Mexicali comparado con el resto de los municipios en la Península de Baja California.

Mexicali sobresale como el municipio con mayor consumo de agua, con un menor costo por m³ de agua y el municipio con mayores pérdidas. Preocupa la gestión del agua en Mexicali no sólo por su situación actual y por su desnivel con respecto al resto de los municipios en la región, pero también porque las estimaciones de CONAGUA sugieren un enorme déficit de agua en ese municipio en el 2030, en particular por la demanda del sector agrícola que incrementa la competencia por acceso al agua (CONAGUA, 2012). Ese déficit es significativamente mayor que para el resto de los municipios en la península a pesar de ser el municipio que concentra la mayor parte de los recursos hídricos en la región.

Es importante recordar que esas estimaciones no incorporan los posibles impactos del cambio climático en las fuentes de agua y en la demanda futura de agua por el crecimiento natural de la población, la economía y el posible incremento en la demanda de agua por el aumento en la temperatura estimado en los escenarios de cambio climático y en el análisis de la vulnerabilidad futura considerados en el proyecto. El proyecto destaca también el futuro déficit de agua en Tecate, Ensenada, Tijuana y Los Cabos. La situación es particularmente grave en los tres primeros dada la tendencia decreciente del agua renovable por habitante en el estado de Baja California. En el caso de Ensenada y Tecate, el déficit de agua estimado para las próximas décadas se da en conjunto a un fuerte incremento en el valor futuro del agua en esos municipios por lo que es particularmente importante tener en cuenta las consecuencias sociales del acceso al agua en ellos durante las próximas décadas. Al respecto vale la pena hacer notar que en varias partes del proyecto se destaca el posible impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en el Río Colorado, la fuente de agua más importante para Baja California. La información considerada en el proyecto hace referencia a diversos estudios que

durante décadas han diagnosticado un decremento en la disponibilidad de agua en la Cuenca del Río Colorado. Entre ellos, el proyecto cita un estudio que detalla cómo la disminución de agua en esa cuenca bajo escenarios de cambio climático conduce a una disminución del agua que México recibiría a través del Río Colorado en las próximas décadas (Christensen, Wood, Voisin, Lettenmaier, & Palmer, 2004). Es importante hacer notar que no existen estimaciones por parte de CONAGUA o de otras fuentes oficiales en México de los posibles impactos en nuestro país de cómo el cambio climático afectará el volumen y la calidad del agua en la cuenca del Río Colorado. Es también importante subrayar que el tema del cambio climático no está considerado más allá de una mención muy general tanto a nivel regional por CONAGUA como a nivel estatal por los Gobiernos de Baja California y Baja California Sur en sus programas hídricos.

La atención a este tema es prácticamente nula a nivel municipal. Uno de los grandes temas ausentes en la gestión del agua en la península es lograr un balance sustentable en su distribución entre sectores. A pesar de que la Ley Nacional de Aguas y el Programa Hídrico Regional para la Península de Baja California dan prioridad al uso urbano del agua y considera la posible transferencia de agua del uso agrícola al urbano, hasta ahora no se ha tomado ninguna acción en ese sentido. Se ha dado prioridad a crear nuevas fuentes de agua a través de las desaladoras con un elevado costo en la construcción y operación de esas plantas y no se ha considerado la reducir la demanda de agua en particular en el sector agrícola y facilitar la transferencia de agua de uso agrícola al urbano. También es pertinente recordar que el diagnóstico del proyecto menciona que el uso agrícola del agua es muy ineficiente (alrededor del 48% de pérdidas de agua en este sector).

La falta de una planeación de mediano y largo plazo en la región y, en particular la falta de liderazgo político con una visión de largo plazo de los tomadores de decisión a nivel regional y estatal, son obstáculos para una gestión eficaz y sustentable del agua y ha facilitado la toma de decisiones unilaterales y poco sustentadas desde un punto de vista social, económico, ético y operativo para mejorar el abasto de agua en la PBC. Un aspecto relevante al uso urbano del agua es que el proyecto documenta un incremento en la demanda de agua asociado al crecimiento de población y de la actividad económica en la región. Pero el proyecto también documenta una progresiva caída en el consumo de agua en todos los municipios de la región y un progresivo incremento en el costo del agua entre volumen producido para los municipios de

Baja California y en particular en los municipios de Ensenada y Tecate muy por encima de la media estatal para el periodo 2002-2015 arriba mencionado. El proyecto documenta que el costo del agua en los municipios de Baja California es de los más altos a nivel nacional a excepción del municipio de Mexicali. Baja California Sur presenta también un progresivo incremento en el costo del agua entre volumen producido, pero ese costo es menor que en Baja California. Un aspecto adicional relevante al consumo urbano del agua es el desnivel entre municipios de la península. El consumo de agua per cápita en los municipios de Baja California Sur es en general superior a la media nacional, pero los municipios de Baja California tienen un consumo de agua significativamente menor a la media nacional.

También existen marcadas diferencias entre municipios. Destaca el elevado consumo de agua per cápita en Mexicali superior al resto de los municipios y a la media estatal de Baja California gracias al abundante abasto del agua superficial del Río Colorado en ese municipio. Los municipios de Tijuana y Ensenada cuentan con un consumo inferior a la media estatal (Tijuana y Ensenada tienen los valores de consumo más bajos en el estado). En contraste, el consumo de agua per cápita en los municipios de Baja California Sur es particularmente elevado en el municipio de Los Cabos, en buena parte debido al peso del turismo en la economía municipal. Asociado a la discusión del tema del agua en zonas urbanas donde se concentra más del 90 por ciento de la población en la región, es importante tener en cuenta otra conclusión relevante del proyecto: la necesidad de dar atención al costo social de los esquemas de gestión del agua.

Esto es importante porque el proyecto demuestra que los grupos sociales de menores ingresos destinan una mayor proporción de su gasto total al consumo de agua en comparación con los de ingresos altos. El análisis realizado por el diagnóstico muestra que los grupos sociales en los deciles de ingreso bajo pagan una proporción mayor de su ingreso por el acceso al agua comparado con los deciles de ingreso alto, particularmente a partir del 2008. Ese análisis muestra que el costo del agua para los menores ingresos se ha incrementado de manera importante en la última década (2004-2014), en particular al comparar ese costo con el período de 1984-1994 y de 1994-2004. Es importante tener en cuenta que un mayor costo del agua a los grupos sociales en los deciles de ingreso bajo está asociado a un menor acceso al agua. Esta situación tiende a agravarse en las próximas décadas al tomar en cuenta la tendencia negativa en el consumo de agua per cápita, el incremento en su costo, la sobreexplotación y la caída en el agua renovable de las fuentes de agua y los cambios esperados bajo los

escenarios del cambio climático. El gran ausente entre los usos del agua en la Península de Baja California es el uso ecológico que hasta ahora no tiene concesiones en los derechos de uso de agua. La región cuenta con sitios de reconocido valor ecológico, muchos de ellos amenazados para mantener su abasto de agua por la competencia por el acceso a esos recursos por actividades económicas, en particular la agricultura. No encontramos un estudio de los posibles impactos del cambio climático en los sitios de valor ecológico de la península, pero un estudio reciente para sitios de valor ecológico en zonas áridas del Sur de California muestra impactos diferenciados en diferentes tipos de especies y puede ser un referente útil a futuros estudios profundizando en este tema (Bachelet et al., 2016).

El análisis de la vulnerabilidad actual al cambio climático realizado por el proyecto presenta una visión de conjunto de los aspectos arriba señalados y otra información relevante compilada en las diferentes partes del proyecto. En el análisis de exposición con variables climáticas (temperatura, precipitación y sequía) Mexicali resulta con el valor más alto, seguido por los municipios de Tecate, Ensenada, Tijuana, Playas de Rosarito y La Paz. El análisis de sensibilidad combina la sensibilidad de la población a partir de sus carencias sociales, la sensibilidad en los sistemas económicos, la sensibilidad de los ecosistemas y la sensibilidad física del agua. El municipio de Mexicali obtuvo el valor más alto en el índice de sensibilidad seguido de Ensenada y Mulegé. En término de capacidad adaptativa, la mejor capacidad se encuentra en Los Cabos seguida de La Paz y Ensenada. Por último, la mayor evidencia de daños se encontró en La Paz, seguido de Tijuana, Comondú y Ensenada. El análisis de vulnerabilidad muestra a Mexicali como el municipio con el valor más alto seguido de Mulegé, Tecate y Playas de Rosarito.

Una contribución importante del análisis de vulnerabilidad es que identifica los municipios más vulnerables, pero también las causas subyacentes de esa vulnerabilidad. Por ejemplo, en Mexicali su alta sensibilidad y exposición es particularmente importante y refuerza resultados de la investigación arriba señalados. A pesar de ser el municipio con el mayor volumen de recursos hídricos en la península, Mexicali enfrenta serios problemas en la gestión de esos recursos. Sobresalen también los problemas de calidad de agua, la sobreexplotación del agua subterránea y la alta sensibilidad de los ecosistemas en ese municipio. Este último aspecto es preocupante dada la tendencia actual de un incremento en la temperatura y una mayor brecha hídrica puede agravar la competencia por el agua en detrimento de los ecosistemas. El análisis

de vulnerabilidad permite identificar esas causas subyacentes varían significativamente en los 10 municipios de la península y que cada caso requiere estrategias particulares para reducir su vulnerabilidad. El enfoque utilizado en el estudio de la vulnerabilidad fue diseñado para fortalecer el carácter analítico de ese concepto y facilitar el uso de sus resultados como una herramienta operativa en el diseño de política pública y acciones de la sociedad para reducir la vulnerabilidad al cambio climático en la gestión del agua. Es un enfoque que puede ayudar a municipios en otras partes del país a lograr una base analítica para la toma de decisiones en un sector estratégico para México actualmente y vital al considerar el contexto del cambio climático.

Las fortalezas del enfoque usado en el proyecto son: crea una visión integrada de la situación actual de los recursos hídricos y de su uso en la región; ayuda a identificar deficiencias en conflictos y contradicciones en la gestión actual del agua y su proyección a futuro. El análisis de la vulnerabilidad es una herramienta analítica útil en el diseño de política pública y acciones de la sociedad para reducir la vulnerabilidad y promover la adaptación al cambio climático en la gestión del agua. El conjunto de los aspectos considerados en el proyecto establece una base sólida para corregir deficiencias en la gestión actual del agua, prevenir conflictos y problemas y facilita el análisis y el diseño de políticas y estrategias en la planeación de corto, mediano y largo plazo del agua. La debilidad de este enfoque, pero en general de la investigación en el tema del agua, es la dificultad para tener acceso a datos e información confiable y útil (en ocasiones los datos requeridos para un análisis más profundo no existen) lo que dificulta la creación de bases de datos y los alcances de la investigación en sí misma. Un problema adicional es que los datos disponibles están en diversas fuentes y se requiere la inversión de una significativa cantidad de tiempo y recursos para la construcción de las bases de datos requeridas para el análisis planteada en este tipo de proyectos.

En cuanto a los escenarios de cambio climático considerados en el proyecto, estos muestran un incremento en la temperatura media global para los horizontes 2030 y 2051 en la mayoría de las estimaciones para la Península de Baja California. Los escenarios dejan ver un incremento de temperatura máxima y mínima relativamente mayor en Baja California que en Baja California Sur. Los escenarios de cambio climático muestran a su vez un decrecimiento en la precipitación en la Península de Baja California. Es relevante observar la disminución en invierno en Baja California y en verano en Baja California Sur, esto debido a que durante esas

estaciones es cuando se presenta la temporada de lluvia, por lo que una caída en la precipitación, acompañado de un aumento en la temperatura tendrán un efecto negativo en la recarga de los acuíferos, así como en la escorrentía de agua superficial desencadenando un decremento en la disponibilidad natural media de agua. El estudio del volumen de agua renovable por habitante proporciona información adicional útil al análisis de la gestión del agua en la región y sus perspectivas futuras. Este estudio se realizó a través del análisis de las Estadísticas del Agua en México (EAM) de la CONAGUA que presentan información a nivel nacional, a nivel de región hidrológica y a nivel de entidad federativa para el periodo 2000-2015, además de presentar estimaciones al 2030. El resultado de las estimaciones (2000-2015) y las previsiones (2030 y 2051) del volumen de Agua Renovable por habitante (ARh) muestran una disminución importante en la Región Hidrológica de la Península de Baja California para el período 2000 y 2015 (de 1610 a 1115 m³/habitante/año).

A nivel entidad federativa se muestran diferencias importantes entre los estados de BC y BCS. La situación en BC es más grave que en BCS puesto que cuenta con un menor volumen de ARh, mismo que se ha reducido por arriba de la media nacional al pasar de 1047 a 858 m³/habitante/año entre 2000 y 2015. BCS cuenta con un volumen de ARh mayor que el reportado para la RHAJ en su conjunto, pero aún debajo de la media nacional. Los resultados del análisis prevén que el ARh seguirá disminuyendo en la región a 899 m³/habitante/año en el 2030. Esa misma tendencia se prevé para BC y BCS, al llegar a los 717 y 1143 m³/habitante/año respectivamente en ese año. La situación será aún más crítica en Baja California al pasar a solo 625 m³/habitante/año mientras que Baja California Sur llegará a 800 m³/habitante/año para el 2051.

Los resultados del proyecto mencionados arriba de la disminución del agua renovable por habitante plantean un enorme reto para la gestión del agua en la Península de Baja California puesto que la SEMARNAT considera una disponibilidad de agua inferior a los 1700 m³/habitante/año como una situación de estrés hídrico (SEMARNAT, 2012). A su vez, se considera que una disponibilidad de agua renovable por habitante menor a 1000 m³/habitante/año es extremadamente baja (SEMARNAT, 2012). Al hablar del problema en del agua renovable en las próximas décadas, es importante tener en cuenta los escenarios de cambio climático. El análisis de los escenarios del cambio climático considerados en el proyecto están basados en los escenarios desarrollados por el Instituto Nacional de Ecología y

Cambio Climático (INECC) para la Sexta Comunicación Nacional de Cambio Climático. Los resultados son indicativos de las anomalías esperadas en las variables de precipitación y temperatura (promedio, máxima y mínima) derivadas de los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, forzados con los RCP4.5 y RCP8.5, para los horizontes de tiempo donde se alcance un incremento de 1oC, 1.5oC y 2oC de temperatura media global (2030, 2041 y 2051 respectivamente). Esos escenarios de cambio climático estiman un aumento en las temperaturas (media, máxima y mínima) y una disminución en la precipitación. Las anomalías de temperatura para BC y BCS son superiores a la media global en cada horizonte temporal (2030 y 2051) particularmente en los meses más cálidos, además de un decremento en la precipitación en el invierno en BC y en el verano en BCS, periodos en los que se presenta la temporada de lluvias en cada entidad federativa.

El análisis de la vulnerabilidad futura toma en cuenta los escenarios del cambio climático, el impacto social del acceso al agua y el valor futuro del agua. En cuanto al impacto social, el proyecto no encontró una asociación estadística robusta en la relación de volumen de agua concesionado y la morbilidad y mortalidad asociada a enfermedades atribuibles al consumo de agua. Pero el proyecto documenta un impacto social a través del ingreso mencionado arriba. Los grupos sociales en los deciles de ingreso bajo dedican una proporción significativamente mayor de su gasto para acceder al agua comparado con los deciles de ingreso alto, particularmente a partir del 2008. Ese análisis muestra que el costo del agua para los menores ingresos se ha incrementado de manera importante en la última década (2004-2014).

La caída en el agua renovable por habitante mencionada arriba, la tendencia ascendente en el valor del agua durante la última década, la ausencia de una estrategia para fortalecer a los organismos operadores que ayude a mejorar su situación actual y, la falta de una planeación de corto, mediano y largo plazo inclusiva del costo social diferenciado entre grupos sociales en la región, hacen prever una mayor competencia por el agua y un mayor impacto para los grupos sociales de bajos ingresos durante las próximas décadas. El análisis de la vulnerabilidad futura a partir de los escenarios de cambio climático, el valor futuro del agua y el impacto social a través del ingreso presenta diferencias importantes en el índice de vulnerabilidad actual arriba mencionado. Este análisis tomó en cuenta las diferencias en los valores de los escenarios de cambio climático (temperatura máxima, mínima y precipitación) en los municipios de la península y los sobrepone a los valores de la vulnerabilidad actual,

sumando los resultados obtenidos en el análisis del valor futuro del agua y en el impacto social a partir del ingreso. Los resultados del análisis de la vulnerabilidad futura modifican los valores de la vulnerabilidad actual. Ensenada aparece como el municipio con mayor vulnerabilidad futura seguido de cerca de Mexicali al tomar en cuenta los valores para los dos modelos de cambio climático. El elevado valor del agua a futuro en Ensenada y su impacto en el ingreso social son dos aspectos impulsando esos cambios que agudiza la competencia por el acceso al agua. En contraste, a Mexicali le ayuda un bajo valor del agua futura, pero los valores elevados en las variables climáticas y sus problemas en la gestión del agua arriba mencionados le dan un valor de vulnerabilidad futura alto. En tercer lugar, aparece Tecate y en cuarto lugar Tijuana. Los valores elevados en los escenarios de cambio climático y el elevado valor del agua a futuro son dos aspectos importantes en el caso de Tecate.

En el caso de Tijuana, una variable importante es que es el municipio con mayor población y aunque el valor del agua proyectado no extremadamente alto como en el caso de Ensenada y Tecate, sí se espera un impacto en el ingreso de los grupos sociales con bajo ingreso. Los municipios de Playas de Rosarito, Los Cabos y La Paz siguen en esa lista de acuerdo con sus valores de vulnerabilidad futura, seguidos a cierta distancia por Loreto, Muleg y Comondú. Un aspecto adicional que ayuda a dar contexto al análisis de la vulnerabilidad futura es el resultado del análisis comparando las curvas de oferta y demanda en la Península de Baja California. Ese análisis muestra que la brecha entre la demanda y la oferta sigue creciendo en el 2030 en Baja California mientras que en Baja California Sur la oferta sigue siendo superior a la demanda en ese mismo escenario.

Los municipios con mayor vulnerabilidad futura se encuentran en Baja California por lo que es urgente modificar el modelo de gestión actual del agua por un esquema de gestión adaptativa sustentable. La disminución a niveles críticos en el volumen de agua renovable por habitante en los escenarios de cambio climático arriba mencionados es también particularmente grave para el uso ecológico del agua. La poca atención que se ha dado hasta ahora para el uso de agua en la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas se agudiza en el contexto de una disminución del agua y una mayor competencia para su acceso. Estrategias de adaptación al cambio climático en la península deben reconocer la urgente necesidad de garantizar la asignación de volúmenes de agua para uso ecológico. La información arriba presentada ilustra la capacidad analítica del concepto de vulnerabilidad en el contexto del cambio climático en la

Península de Baja California. Es importante resaltar la urgente necesidad de crear procesos de adaptación para reducir la vulnerabilidad actual y futura y prevenir el impacto negativo del cambio climático en los recursos hídricos en la región. Aún en el caso de municipios con bajos valores de vulnerabilidad, no implica que la adaptación no debe ser una prioridad en esos municipios. Los valores en el índice de vulnerabilidad son comparativos con respecto a los otros municipios en la península y es un instrumento analítico en apoyo a un mejor conocimiento del tema del agua en el contexto del cambio climático y en apoyo a la formulación de política pública.

La conclusión inevitable del proyecto es que la Península de Baja California requiere urgentemente dar atención a la gestión adaptativa y sustentable de sus recursos hídricos. El proyecto documenta evidencias que sugieren una crisis de agua. Sus resultados resaltan la importancia de mejorar y trascender el modelo actual de gestión del agua en México basado en reducir la escasez a través de un incremento en la oferta de agua, así como mejorar la eficiencia económica en el manejo del agua. La gestión del agua debe de estar enmarcada en el contexto de una planeación de largo plazo, orientada a lograr la sustentabilidad de los recursos e inclusiva del cambio climático y de los costos sociales y ecológicos no considerados hasta ahora. Lograr estos cambios no es una tarea sencilla, pero es un deber ineludible. Los resultados de este proyecto son una contribución en este sentido.

Referencias

Bachelet, D., Ferschweiler, K., Sheehan, T. y Strittholt, J. (2016) *Climate change effects on Souther California deserts. Journal of Arid Environments* 127, 17-29.

Christensen, N., Wood, A., Voisin, N., Lettenmaier, D., & Palmer, R. (2004). *The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. Climatic Change*, (62), 337–363.

CONAGUA. (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030*. (SEMARNAT, Ed.). México, D.F: Comisión Nacional del Agua. Recuperado a partir de www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf

Hernández, M. (2016). *Planificación hídrica y gobernanza del agua: su implimentación en la subcuenca hidrográfica del río Amecama, Valle de México*. Recuperado a partir de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Hernández-Cruz-Moisés-Gerardo.pdf>

Jiménez Cisneros, B. E., Fischer, T., Barros, R., Dokken, D., Mach, K., Bilir, T., ... MacCracken, S. (2014). *Freshwater resources*. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge Universi. Shinjiro Kanae (Japan), 229–269. Recuperado a partir de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap3_FINAL.pdf

Medema, J., & Jeffrey, P. (2005). *IWRM and Adaptive Management: Synergy or Conflict? Newater (Vol. NeWater Re)*. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.002>

OECD. (2015). *Water governance initiative: achievements and ways forward*. Recuperado a partir de <http://www.oecd.org/cfe/regional-policy/WGI-Achievements-Ways-Forward.pdf>

Pahl-Wostl, C. (2007). *Transitions towards adaptive management of water facing climate*

and global change. *Water Resour Manage*, 21, 49–62.

<https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4>

Pahl-Wostl, C., Kabat, P., & Möltgen, J. (2008). Adaptive and Integrated Water Management: Coping With Complexity and Uncertainty. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(33), 306–306. <https://doi.org/10.1029/2008EO330009>

Pathak, T., Maskey, M., Dahlberg, J., Kearns, F., Bali, K., & Zaccaria, D. (2018). Climate Change Trends and Impacts on California Agriculture: A Detailed Review. *Agronomy*, 8(3), 25. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030025>

SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. D.F.

Recuperado a partir de

http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_2.html

SEMARNAT & CONAGUA. (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Comisión Nacional del Agua. Recuperado a partir de <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/PNH2014-2018.pdf>

Derechos Reservados © 2018

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña,
Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Este trabajo se realizó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo para la Sexta comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

