



ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA (ISH) CLAVE: HC1913.1

Informe final

Coordinación de Hidráulica

Velitchko G. Tzatchkov. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Gema Alín Martínez Ocampo. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Petronilo Edilburgo Cortéz Mejía. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
José Manuel Rodríguez Varela. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Óscar Jesús Llaguno Guilberto. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Juan Fco. Gómez Martínez. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Arizabeth Sainos Candelario. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Luis Gómez Lugo. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Juan Maldonado Silvestre. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Rodrigo Ulises Santos Tellez. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Martha Patricia Hansen Rodríguez. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana

Coordinación de Hidrología

Edgar Yuri Mendoza Cázares. - Subcoordinación de Hidrología Subterránea
David Ortega Gaucín. - Subcoordinación de Hidrología Superficial

México, 2019

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	5
OBJETIVOS.....	7
ALCANCES (ENTREGABLES) PLANTEADOS EN LA APERTURA DEL PROYECTO.....	7
IMPACTOS SOCIALES, ECONÓMICOS, CIENTÍFICOS O TECNOLÓGICOS	7
ANTECEDENTES.....	8
1 INTRODUCCIÓN.....	9
2 METODOLOGÍA	13
2.1 Definición y desarrollo de contenido del libro	13
2.2 Elaboración de libro en formato digital	18
2.3 Publicación del libro en formato digital	20
3 RESULTADOS DEL PROYECTO.....	23
3.1 Libro elaborado	23
3.2 Artículos elaborados y publicados sobre índices de seguridad hídrica	25
3.2.1 Artículo publicado en Springer Nature Applied Sciences.....	26
3.2.2 Artículo publicado en Revista Tecnología y Ciencias del Agua	35
3.2.3 Artículo publicado en el libro de memorias de SEREA 2019, Portugal	35
3.2.4 Artículo en revisión en Journal Sustainable Earth de Springer	36
3.2.5 Artículo en revisión en Revista Tecnología y Ciencias del Agua	40
3.2.6 Ponencia en las VI Jornadas de Ingeniería del Agua, España y artículo en revisión en Revista Ingeniería del Agua, España.....	41
4 CONCLUSIONES.....	43
5 ANEXOS.....	49
5.1 Anexo 1 Libro ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA editado	49
5.2 Anexo 2 Artículo publicado en Springer Nature Applied Sciences.....	49
5.3 Anexo 3 Artículo publicado en Revista Tecnología y Ciencias del Agua	49
5.4 Anexo 4 Artículo publicado en el libro de memorias de SEREA 2019, Portugal	49
5.5 Anexo 5 Resumen de la ponencia presentada en las Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA), 2019	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios editoriales para la entrega de los capítulos.	19
Tabla 2. Autor, país, institución y su participación en el libro elaborado.	23



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA

Página **4** de **49**

México, 2019

Clave: **HC1913.1**

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo corresponde a la tercera etapa del proyecto, con el objetivo de culminar el trabajo de las dos etapas anteriores, de los años 2017 y 2018, con la elaboración de un libro institucional sobre los índices de seguridad hídrica, y escribir y publicar artículos sobre el mismo tema. Los alcances planteados fueron: a) Libro institucional publicado sobre índices de Seguridad Hídrica. El libro se publicará en formato digital, b) Artículo en revista internacional publicado sobre índices de seguridad hídrica. El artículo será en inglés o español, y se publicará en revista de una editorial de prestigio.

Los resultados de los alcances planteados son los siguientes:

a) Libro institucional sobre índices de Seguridad Hídrica, en formato digital

El contenido del libro se estructuró en dos partes. Cada parte consta de 11 capítulos, escritos por diversos autores, del IMTA y de otras instituciones. La primera parte, denominada “Seguridad Hídrica Estatal y Municipal”, trata de la seguridad hídrica en general, y de la seguridad hídrica estatal y municipal, que son temas en que se trabajó en las etapas previas del proyecto en los años 2017 y 2018. La segunda parte, cuyo nombre es “Elementos de Seguridad Hídrica Urbana” se dedica a temas de la seguridad hídrica urbana en particular. El libro tiene también un Prefacio y Conclusiones.

Escribir el libro representó el esfuerzo colectivo de 30 autores de 3 países (México, Italia y Canadá) y 5 instituciones, así como de consultores independientes. El libro elaborado está listo para ser publicado, en formato digital, y subido a la biblioteca de libros digitales publicados por el IMTA. De acuerdo con el reglamento del nuevo Consejo Editorial del IMTA que se instaló a finales del presente año, los libros que publicará el IMTA deben de pasar por una revisión, interna y externa, antes de ser aprobados para su publicación, para lo cual se establecerá un protocolo de actuación. De igual manera, el área editorial del IMTA investigará la procedencia e idoneidad de publicar los libros bajo una licencia *Creative Commons*, para que los libros sean de acceso no solamente gratuito sino también libre, y relacionado con esto el proceso para el trámite del ISBN. Por otro lado, todo libro editado por el IMTA será presentado formalmente en un acto oficial. Dados estos nuevos lineamientos editoriales, el trámite del ISBN y la publicación del libro quedan pendientes para el siguiente año 2020.

b) Elaboración y publicación de artículos sobre índices de seguridad hídrica

En el marco del proyecto se publicaron 2 artículos en revistas indizadas (uno en el Journal Springer Nature Applied Sciences y otro en la Revista Tecnología y Ciencias del Agua) y un artículo en las memorias de una conferencia internacional (SREA 2019, Seminario Iberoamericano sobre Planificación,

Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua, evento tuvo lugar del 15 al 17 de julio en Lisboa, Portugal.

Se enviaron a revistas otros 3 artículos, que actualmente se encuentran en arbitraje para publicación, 2 de ellos a revistas indizadas (en Journal Sustainable Earth de Springer Verlag, en la revista Tecnología y Ciencias del Agua, y en la revista Ingeniería del Agua, España). También se presentó una ponencia en el evento VI Jornadas de Ingeniería del Agua, España.

OBJETIVOS

- Continuar en una tercera etapa el proyecto iniciado en 2017
- Escribir y publicar un libro institucional sobre los Índices de Seguridad Hídrica
- Escribir y publicar un artículo sobre los Índices de Seguridad Hídrica

ALCANCES (ENTREGABLES) PLANTEADOS EN LA APERTURA DEL PROYECTO

- Libro institucional publicado sobre índices de Seguridad Hídrica. El libro se publicará en formato digital
- Artículo en revista internacional publicado sobre índices de seguridad hídrica. El artículo será en inglés o español, y se publicará en revista de una editorial de prestigio

IMPACTOS SOCIALES, ECONÓMICOS, CIENTÍFICOS O TECNOLÓGICOS

Al tratarse de indicadores de seguridad hídrica, dada la aprobación reciente del IMTA como Centro Regional UNESCO de Seguridad Hídrica Categoría 2, del proyecto se beneficiará la Comisión Nacional del Agua, las Comisiones Estatales de Agua, Organismos Operadores Municipales y otras instituciones de los tres niveles de gobierno en México, relacionadas con la planeación y asignación de recursos para la gestión integrada de los recursos hídricos y la seguridad hídrica, así como instituciones similares de otros países de la región de América Latina y el Caribe.



ANTECEDENTES

- La aprobación reciente del IMTA como Centro Regional UNESCO de Seguridad Hídrica Categoría 2 abre horizontes al instituto en aportar a nivel internacional en un tema tan importante como la seguridad hídrica, tanto para México como para otros países.
- En las primeras dos etapas del proyecto en los años 2017 y 2018, de manera interna en instituto, se sentaron las bases de índices de seguridad hídrica para México, considerando Disponibilidad, Acceso al agua, Calidad y Protección, y Administración, así como conceptos de riesgo, peligro y la vulnerabilidad social. Se definieron y obtuvieron dichos índices a nivel estatal y municipal.
- A pesar de que en la formulación de los índices se usaron algunas publicaciones nacionales e internacionales, este trabajo original del IMTA no ha sido publicado, y no ha recibido retroalimentación nacional e internacional. En esta relación, en esta etapa 2019 del proyecto se propuso escribir y publicar un libro institucional sobre los Índices de Seguridad Hídrica.

1 INTRODUCCIÓN

La seguridad hídrica es un elemento clave para la sostenibilidad; además, en el marco del derecho humano al agua en cantidad y calidad, resulta indispensable para el desarrollo en todos los países. Es un tema de seguridad nacional para México, así como de paz regional y de sostenibilidad global. Su importancia se confirma al ser uno de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en particular de su objetivo 6, que busca “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Es también un asunto de equidad social, pues es una aspiración de todo habitante tener acceso al agua potable. El agua dulce es un recurso importante para la salud, la prosperidad y la seguridad humana y es esencial para la erradicación de la pobreza, la igualdad de género, la seguridad alimentaria y la preservación de los ecosistemas. Aun así, billones de personas alrededor del mundo se enfrentan a serios desafíos relacionados con el agua dulce; como la escasez, la mala calidad, la falta de facilidades sanitarias o desastres naturales: como inundaciones o sequías. Se estima que en el año 2030 la mitad de la población mundial vivirá en zonas con alto estrés hídrico. Se requiere investigar, formar recursos humanos y generar políticas públicas que atiendan esta problemática, para fortalecer las capacidades para afrontar el cambio climático y la atención a una población cada vez mayor, tanto en México como en países de América Latina y el Caribe.

El agua es un recurso indispensable para la sociedad y las ciudades, que desde un punto de vista histórico mostraron la tendencia a asentarse en las proximidades de fuentes permanentes de agua. El agua no debe considerarse como un fin en sí mismo, sino también como un medio para alcanzar los otros objetivos de desarrollo: alimentación, energía, crecimiento sostenible, prevención de enfermedades y desarrollo cultural. En las ciudades modernas la gestión del agua sigue siendo un tema fundamental que condiciona el desarrollo urbano y el crecimiento económico. Pero hoy entran en juego nuevas variables ligadas a la expansión del área urbana sin planificación, la industrialización, el crecimiento poblacional, el aumento de la demanda de agua, la contaminación de las fuentes de agua y el cambio climático.

El agua y la agricultura tienen un nexo muy importante en el establecimiento y desarrollo de las sociedades, las variables y factores involucrados en cada caso ejercen influencia sobre las soluciones que se requieren para garantizar Seguridad Hídrica y Seguridad alimentaria, dos de los grandes retos a los que se enfrenta las sociedades del siglo XXI y necesariamente vinculadas en los procesos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

Tal es la relevancia de la seguridad hídrica, que el Plan Nacional Hídrico 2019-2024 contempla como un objetivo estratégico este concepto, mediante acciones de prevención, resiliencia y adaptación al cambio climático; promover la

infraestructura verde para la protección de centros de población y atender las emergencias provocadas por fenómenos naturales extremos y antropogénicos.

Ante este complejo escenario, el recién creado Centro Regional de Seguridad Hídrica Categoría 2 de la UNESCO, formado por las dos instituciones líderes en el manejo del agua en México: el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, enfrenta importantes retos. El Centro contribuirá a salvaguardar los recursos hídricos del país y fortalecer las capacidades de América Latina y el Caribe, a través de la capacitación especializada, el intercambio de experiencias y la colaboración entre gobiernos y academia, y la cooperación técnica y científica en la región, aprovechando los más de 40 años de la contribución mexicana al Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. El mismo suma las capacidades técnicas más importantes del agua en el ámbito nacional y las pone al servicio de la región, en la generación de soluciones, que comprometan la cantidad y calidad del recurso agua. Ayudará también a atender asuntos como la administración del agua y la prevención, control y mitigación de riesgos por desastres hidrometeorológicos (inundaciones y sequías). En todas estas cuestiones México tiene experiencias que aportar a la región, así como a otros países en desarrollo.

La misión del Centro consiste en mejorar la cooperación científica en la región y profundizar en la comprensión de las investigaciones sobre el agua, prestando especial atención a la seguridad de los recursos hídricos. Asimismo, buscará comprender y abordar la problemática relacionada con la seguridad hídrica en diversas escalas tomando en cuenta los diversos contextos socioeconómicos. Este es un elemento clave para la sostenibilidad; además, en el marco del derecho humano al agua en cantidad y calidad. Para ello, el Centro se propone impulsar mayor innovación gubernamental e investigación interdisciplinaria, con miras a responder al impacto del cambio climático sobre los recursos naturales, a los efectos adversos de las acciones humanas sobre el medio ambiente, para estar en posibilidad de garantizar la seguridad hídrica de los pueblos, a través del acceso humano al agua en cantidad y calidad, al tiempo de garantizar el equilibrio de los ecosistemas.

La publicación del presente libro es un paso concreto en esta dirección. Aparte de la seguridad hídrica en general, de índices de la seguridad hídrica a nivel estatal y municipal, el mismo trata de temas particulares de la seguridad hídrica urbana, tales como protección contra inundaciones y tecnologías verdes de bajo impacto para mitigar los daños generados por éstas, mejoramiento de las eficiencias física y comercial de los sistemas de agua potable, modelos para planificar la renovación de tuberías y medidores de consumo, sectorización de las redes con sus indicadores de desempeño y optimización, y tecnologías alternativas que incluyen la recolección y aprovechamiento de agua de lluvia, entre otros.



El libro que se genera en el proyecto, primero en el tema que publica el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ayudará a la comprensión de los conceptos y dimensiones de la seguridad hídrica, y contribuirá a la mejora de la planeación y la gestión sustentable de los recursos hídricos.



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA

Página **12** de **49**

México, 2019

Clave: **HC1913.1**

2 METODOLOGÍA

En la apertura de proyecto se establecieron los siguientes alcances y métodos de trabajo:

- **Definición de contenido del libro**
- **Elaboración del libro en formato digital**
- **Publicación del libro en formato digital**
- **Elaboración y publicación de artículo en revista internacional sobre los índices de seguridad hídrica**

2.1 Definición y desarrollo de contenido del libro

El contenido del libro se estructuró en dos partes. La primera parte, denominada “Seguridad Hídrica Estatal y Municipal”, trata de la seguridad hídrica en general, y de la seguridad hídrica estatal y municipal, que son temas en que se trabajó en las etapas previas del proyecto en los años 2017 y 2018. La segunda parte, cuyo nombre es “Elementos de Seguridad Hídrica Urbana” se dedica a temas de la seguridad hídrica urbana en particular. El libro tiene también un Prefacio y Conclusiones.

El índice de contenido del libro, con los autores correspondientes de cada capítulo, quedó en la forma siguiente:

Prefacio

Dr. Adrián Pedrozo Acuña

Primera parte: Seguridad Hídrica Estatal y Municipal

Cap. 1. Conceptos y dimensiones de la seguridad hídrica

José Manuel Rodríguez Varela, Petronilo E. Cortéz Mejía, Velitchko G. Tzatchkov

En el capítulo se señala de forma general la situación de los recursos hídricos en México, la problemática y los principales retos de la Seguridad Hídrica, la interconexión de la crisis hídrica con los riesgos globales, tales como: factores demográficos y la urbanización, los efectos del cambio climático, la carencia de agua, la sequía, la producción de alimentos, las inundaciones, la calidad del agua, y la gobernanza; además se señalan las definiciones de la seguridad hídrica en el contexto internacional.

Cap. 2. Opciones para el índice de seguridad hídrica, estado del arte
José Manuel Rodríguez Varela, Petronilo E. Cortéz Mejía, Velitchko G. Tzatchkov

Como parte del contenido del capítulo se refieren las siguientes metodologías: la aplicada en la región Asia Pacífico, la Metodología (Mason N. and Roger C., 2012), Metodología (Van Beek E. y Arriens W. L., 2014), la Metodología (Ait-Kadi M. y Lincklaen A. W., 2016), la Metodología (Gain A. K. Giupponi C., Wada Y., 2016), la Metodología del Índice de Desarrollo Ambiental (Environmental Performance Index EPI) y la Metodología del Programa Nacional Hídrico (PNH) de México, la Metodología del PNH con propuesta de modificación IMTA y finalmente la Metodología probabilística del índice de seguridad.

Cap. 3. Contexto global: la seguridad hídrica en el mundo
David Ortega Gaucin
Petronilo E. Cortéz Mejía

En este capítulo se concentra información referente a la situación mundial de la disponibilidad y calidad del agua, así como de la accesibilidad a los servicios de agua y saneamiento, la seguridad frente a eventos extremos (sequías e inundaciones) y la gobernanza de los recursos hídricos.

Cap. 4. Variación del almacenamiento subterráneo, estratégico en la seguridad hídrica
Edgar Yuri Mendoza Cázares, Agustín Breña Naranjo, Julio César Soriano Monzalvo, Rubén Darío Hernández López, Vicente Ortega Lara

El contenido del capítulo refiere la metodología de determinación de la variación del almacenamiento subterráneo de agua, el cual está determinado por la aceleración de la gravedad terrestre, la potencia gravitacional, y algunas otras variables de la superficie de la tierra.

Cap. 5. Accesibilidad a los servicios de Agua potable y Saneamiento
Petronilo E. Cortéz Mejía

Como marco del capítulo se refieren la accesibilidad y el ciclo integral del agua y el derecho humano al agua y saneamiento. Entre los apartados que integran el capítulo se encuentran: los servicios mejorados de agua y saneamiento, los indicadores de accesibilidad al agua y saneamiento, como son: los indicadores JMP OMS-Unicef, el Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH), y el Índice Global de Acceso a los Servicios básicos de Agua (IGASA).

Cap. 6. El peligro por sequía en México
David Ortega Gaucin

El contenido del capítulo incluye el panorama de las sequías en México (una breve historia e impactos de las sequías, y los factores físicos que propician las sequías meteorológicas), así como el grado de peligro derivado de las sequías.

Cap. 7. Indicadores de producción agrícola y uso productivo del agua
Luis Gómez Lugo, Edgar Antúnez Leyva.,

Como parte del capítulo se señala la importancia de evaluar el uso del agua en la producción agrícola, la relación de la seguridad hídrica y la seguridad alimentaria, y la metodología para la construcción de indicadores, así como algunas aplicaciones para valorar la producción con base en indicadores.

Cap. 8. Índices de gestión y gobernanza del agua
Arizabeth Sainos Candelario, Jorge A. Casados Prior, Denise .F. Soares de Moraes

El contenido del capítulo incluye el desarrollo de la metodología para determinar los índices de gestión y gobernanza del agua, entre los que se incluyen elementos como: el índice de gobernanza, transparencia y rendición de cuentas, control de la corrupción, ausencia de violencia, certeza jurídica, regulación y conflictos relacionados con el agua.

Cap. 9. Índices de la seguridad hídrica estatal
Petronilo E. Cortéz Mejía

En este capítulo se presenta la adaptación de la metodología del índice global de seguridad hídrica, aplicado a nivel sub-nacional para el caso de México, así como los resultados obtenidos de dicha adaptación.

Cap. 10. Disponibilidad de aguas superficiales
Juan Fco. Gómez Martínez, Ernesto Aguilar Garduño

El capítulo tiene como objetivo presentar la metodología utilizada para determinar la disponibilidad de aguas superficiales, para lo cual se considera entre otros, el cálculo del escurrimiento virgen o natural, el escurrimiento de aguas abajo, la disponibilidad de salida de cada subcuenca y la disponibilidad por cuenca propia.

Cap. 11. Índices de la seguridad hídrica municipal
Oscar J. Llaguno Guilberto, José Manuel Rodríguez Varela, Edgar Yurí Mendoza Cázares, David Ortega Gaucin, Oscar Arce Román,

Horacio Vera Benítez, Felipe I. Arreguín Cortés, José Raúl Saavedra Horita

Como parte del contenido del capítulo, se presenta la metodología de estimación de índices con delimitación municipal, para los cuales fue necesario estimar, el índice de vulnerabilidad social, y el índice de peligro, compuesto a su vez por: el Índice de falta de acceso a los servicios de agua y saneamiento, el índice de sequías, el Índice de abatimiento de aguas subterráneas, el Índice de inundaciones y fenómenos meteorológicos extremos. Del índice de vulnerabilidad social y de peligro, se obtuvo el índice de riesgo y con ello la seguridad hídrica municipal.

Segunda parte: Elementos de Seguridad Hídrica Urbana

Cap. 12. Conceptos y dimensiones de la seguridad hídrica urbana
José Manuel Rodríguez Varela, Velitchko G. Tzatchkov

El contenido del capítulo incluye: la introducción al tema de seguridad hídrica urbana, impactos de la urbanización en los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos, las superficies impermeables que modifican el ciclo hidrológico, reducen la calidad del agua, y afectan la recarga de agua subterránea; la gestión integrada de recursos hídricos, la estimación de costos para la mejora de la seguridad hídrica en las redes de agua potable, el modelo para determinar la degradación y renovación de infraestructuras (modelo de sobrevivencia por cohorte) y la estimación de daños por inundaciones en zonas urbanas.

Cap. 13. Inundaciones y la seguridad hídrica
José Manuel Rodríguez Varela, Oscar J. Llaguno Guilberto, Cuauhtémoc Tonatiuh Vidrio Sahagún

El capítulo incluye la definición y clasificación de las inundaciones, el efecto del cambio climático, la gestión del riesgo de inundación, el enfoque de la gestión del riesgo de inundación basada en la resiliencia, medidas de mitigación de inundación, y metodología para generar mapas de peligro para zonas urbanas.

Cap. 14. Infraestructura verde para mitigar inundaciones
Oscar J. Llaguno Guilberto, Jéssica Nava Pérez y Cuauhtémoc Tonatiuh Vidrio Sahagún

El contenido del capítulo incluye un apartado de sustentabilidad urbana, definiciones de las tecnologías de infraestructura verde, entre las que se incluyen ventajas y desventajas, y su clasificación.

 MEDIO AMBIENTE <small>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</small>	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA
Página 17 de 49	México, 2019	Clave: HC1913.1

Cap. 15. Mejoramiento de la eficiencia física de los sistemas de agua potable

Juan Maldonado Silvestre, Rodrigo Ulises Santos Téllez, Ana Laura Morales Musito

Como parte del capítulo se incluye la disponibilidad del agua en México, el análisis de la eficiencia física en sistemas de agua potable, el indicador de gestión, el programa de control de pérdidas e incremento de la eficiencia física en ciudades de México, y la planeación para mejorar la eficiencia física con ejemplos prácticos.

Cap. 16. Mejoramiento de la eficiencia comercial de los sistemas de agua potable

Petronilo E. Cortéz Mejía

En el capítulo se definen las áreas que integran el sistema comercial, el desempeño operacional y comercial, el desempeño global y su impacto en el organismo operador de agua, las mejores prácticas para mejorar la eficiencia comercial y su planificación.

Cap. 17. Índices y modelos para planificar la renovación de redes de tuberías, y de medidores de consumos

Petronilo E. Cortéz Mejía, Velitchko G. Tzachkov, José Manuel Rodríguez Varela

Como parte del capítulo se presenta el ILI como herramienta de gestión de tuberías y conexiones domiciliarias, así como otros modelos para la gestión de activos de redes de agua potable y modelos para la renovación de medidores de consumo.

Cap. 18. Sectorización de las redes de agua potable

Rodrigo Ulises Santos Téllez, Carmen Julia Navarro Gómez, José Manuel Rodríguez Varela

El capítulo considera el estado inicial de la red de distribución, los criterios a considerar para la sectorización y sus objetivos, la metodología de sectorización, y ejemplos reales de sectorizaciones realizadas en las que se incluyen ejemplos de gestión de presiones.

Cap. 19. Índices de seguridad en la sectorización de las redes de agua potable

Armando Di Nardo, Velitchko G. Tzatchkov

Como parte del contenido del presente capítulo se encuentra la metodología para el cálculo de los índices de redundancia topológica y energética, Índices de

entropía, de la calidad del agua y de redundancia mecánica, así como los Índices para la evaluación de eficiencia hidráulica en sectores implementados.

Cap. 20. Recolección y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico

Luis Gómez Lugo

En el contenido de éste capítulo se puede encontrar la situación del agua en México dentro del contexto socio geográfico hídrico, los conceptos y elementos importantes de considerar del agua de lluvia como pueden ser escalas, usos y aplicaciones, así como el potencial del agua de lluvia e indicadores asociados a su aprovechamiento

Cap. 21. Indicadores de desempeño de los organismos operadores (PIGOO)
Martha Patricia Hansen Rodríguez, José Manuel Rodríguez Varela

En el capítulo se aborda el agua en México y la importancia de los indicadores de gestión, la situación de Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en México, el estudio de indicadores realizado en el IMTA, la definición del cuadro de indicadores prioritarios, y los resultados obtenidos de los indicadores analizados.

Cap. 22. Grupo de Acción Ctrl+SWAN de la Asociación Europea de Innovación sobre el Agua

Armando Di Nardo, Velitchko G. Tzatchkov

Ctrl+SWAN es uno de los grupos de acción de la Asociación Europea de Innovación sobre el Agua (en inglés “European Innovative Partnership (EIP) on Water”). Su nombre viene de “Cloud Technologies & Real time monitoring + Smart Water Network”, lo que en español se traduce como “Tecnologías en la Nube y monitoreo en tiempo Real + Red de Agua Inteligente”. El trabajo de este grupo de acción se centra en técnicas y tecnologías para el monitoreo de los sistemas de abastecimiento de agua potable a través de sensores y dispositivos innovadores, en el presente capítulo se aborda la metodología, miembros, y descripción de sensores para una red de agua potable inteligente, así como la investigación y desarrollo del Grupo de Acción y Publicaciones de Ctrl+SWAN con participación del IMTA.

2.2 Elaboración de libro en formato digital

Se preparó plantilla en formato Microsoft Word, para definir la estructura y estilo de elaboración de los capítulos. La Tabla 1 muestra los criterios editoriales,

preparados especialmente para este libro, los cuales se solicitaron a los autores para la entrega de los capítulos correspondientes a cada autor u autores, mismos que también se contenían en la plantilla. Por su parte, el responsable del proyecto recibía los capítulos elaborados, los revisaba, en ocasiones en reuniones con el Subcoordinador de Hidráulica Urbana y con los propios autores, y de ser necesario hacía recomendaciones para algunos cambios y homogenización.

Tabla 1. Criterios editoriales para la entrega de los capítulos.

Variable	Descripción
Elementos de Identificación	Incluye: núm. de orden del capítulo, título del capítulo, autor principal y. Ejemplo: 1-Diagnóstico-ManuelVarela.
Elementos de forma	<p>En cuartilla (tamaño carta, múltiple 1.5, de 35 a 38 renglones por página).</p> <p>Márgenes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Superior e inferior: 2.54 cm ▪ Izquierdo y derecho: 3.17 cm <p>Tipografía: Arial, / 12 pts. Extensión: máximo 8 cuartillas Ortografía: Sin errores. Sangría: Sin sangría Título del artículo: 20 pts negritas Títulos: 1.1 Arial de 16 pts negritas Subtítulos: 1.1.1 Arial de 14 pts normal Sub-subtítulos: 1.1.1.1. Arial de 12 pts cursivos</p>
Ortografía y Redacción	<p>Todo el trabajo debe estar ordenadamente redactado, con las reglas de ortografía en uso, estipuladas por la Real Academia de la Lengua (RAE). Se debe mantener coherencia y cohesión en todos los párrafos del texto e interconectar las secciones o subtemas del análisis, con una redacción clara que no sea cortante o permita confusiones. Debe existir organización lógica y con jerarquía en las ideas presentadas. Toda oración en un párrafo inicial debe ser la principal y las subsecuentes del mismo párrafo deben ser ideas que explican o complementan la primera. Los párrafos entre sí deben tener conexión argumentativa y/o temática. El documento debe mantener cohesión y secuencia por tanto no debe</p>

	presentar párrafos aislados o no conectados argumentativamente o temáticamente.
Título	Definición del tema del artículo para casos en un máximo de 10 palabras.
Institución	Identificar la institución o instituciones donde se realizó la investigación
Introducción	Resumen (Abstract): resume el contenido del artículo.
Metodología	Introducción: informa el propósito y la importancia del trabajo.
Resultados	Resultados: presenta los datos experimentales.
Discusión	Discusión: explica los resultados y los compara con el conocimiento previo del tema.
Bibliografía	Es necesario usar el formato APA (American Psychological Association) para la recolección de bibliografía y el orden deberá ser de forma alfabética.
Cita en texto	En formato Apa, cuando sea la primera vez que aparezca la cita, esta debera de tener a todos los autores, en lo subsecuente, aparecerá, sólo el primer autor, et. al., así como el año.

Una vez aceptados como definitivos, los capítulos elaborados se convirtieron en formato editorial InDesign de Abode Systems y se integraron editando un solo documento, en formato libro digital y en formato PDF. El libro elaborado consta de más de 600 páginas. Se adjunta en el Anexo 1 de este informe.

2.3 Publicación del libro en formato digital

El libro elaborado está listo para ser publicado, en formato digital, y subido a la biblioteca de libros digitales publicados por el IMTA. A finales del presente año se instaló el nuevo Consejo Editorial del IMTA. El responsable del proyecto forma parte de este consejo, como miembro suplente. De acuerdo con el reglamento de este consejo editorial, que se propuso en la misma reunión de instalación, los libros que publicará el IMTA deben de pasar por una revisión, interna y externa, antes de ser aprobados para su publicación, para lo cual se establecerá un protocolo de actuación. De igual manera, el área editorial del IMTA investigará la procedencia e idoneidad de publicar los libros bajo una licencia *Creative Commons*, para que los libros sean de acceso no solamente gratuito sino también libre, y relacionado con esto el proceso para el trámite del ISBN. Por otro lado, todo libro editado por el IMTA será presentado formalmente en un acto oficial.



Dados estos nuevos lineamientos editoriales, el trámite del ISBN y la publicación del libro quedan pendientes para el siguiente año 2020.



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA

Página **22** de **49**

México, 2019

Clave: **HC1913.1**

3 RESULTADOS DEL PROYECTO

3.1 Libro elaborado

El libro representó el esfuerzo colectivo de 30 autores de 3 países (México, Italia y Canadá) y 5 instituciones, así como de consultores independientes, los cuales estuvieron bajo la coordinación del Dr. Velitchko G. Tzatchkov quien fue el jefe de proyecto. La Tabla 2 resume los datos de los autores, su país, institución y participación en el libro.

Tabla 2. Autor, país, institución y su participación en el libro elaborado.

Autor	País	Institución	Participación en el libro
Adrián Pedrozo Acuña	México	IMTA	Prefacio
Velitchko G. Tzatchkov	México	IMTA	Editor Capítulos 1, 2, 12, 17, 19 y 22, y Conclusiones
José Manuel Rodríguez Varela	México	IMTA	Capítulos 1, 2, 11, 12, 13, 17 y 18
Petronilo E. Cortéz Mejía	México	IMTA	Capítulos 1, 2, 5, 9, 16 y 17
David Ortega Gaucin	México	IMTA	Capítulos 3, 6 y 11
Edgar Yuri Mendoza Cázares	México	IMTA	Capítulos 4 y 11
Agustín Breña Naranjo	México	IMTA	Capítulo 4
Julio César Soriano Monzalvo	México	IMTA	Capítulo 4
Hernández López Rubén Darío	México	Consultor independiente	Capítulo 4
Vicente Ortega Lara	México	Consultor independiente	Capítulo 4
Luis Gómez Lugo	México	IMTA	Capítulos 7 y 20
Edgar Antúnez Leyva	México	IMTA	Capítulo 7
Arizabeth Sainos Candelario	México	IMTA	Capítulo 8
Jorge A. Casados Prior	México	IMTA	Capítulo 8
Denise .F. Soares de Moraes	México	IMTA	Capítulo 8
Juan Fco. Gómez Martínez	México	IMTA	Capítulo 10
Ernesto Aguilar Garduño	México	IMTA	Capítulo 10
Oscar J. Llaguno Guilberto	México	IMTA	Capítulos 11, 13 y 14



Oscar Arce Román	México	Conagua	Capítulo 11
Horacio Vera Benítez	México	Conagua	Capítulo 11
Felipe Arreguín Cortés	México	Consultor independiente	Capítulo 11
José Raúl Saavedra Horita	México	Consultor independiente	Capítulo 11
Cuauhtémoc Tonatihu Vidrio Sahagún	Canadá	University of Calgary	Capítulos 13 y 14
Jéssica Nava Pérez	México	Universidad de Guanajuato	Capítulo 13
Juan Maldonado Silvestre	México	IMTA	Capítulo 15
Rodrigo Ulises Santos Téllez	México	IMTA	Capítulos 15 y 18
Ana Laura Morales Musito	México	IMTA	Capítulo 15
Carmen Julia Navarro-Gómez	México	Universidad Autónoma de Chihuahua	Capítulo 18
Armando Di Nardo	Italia	Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli	Capítulos 19 y 22
Patricia Hansen Rodríguez	México	IMTA	Capítulo 21

Fuente: Elaboración propia, IMTA 2019.

En la Ilustración 1 se muestra una reseña ilustrada del contenido del libro, con algunas de las portadas correspondientes a cada uno de los capítulos.



Ilustración 1. Reseña ilustrada de libro

Fuente: Elaboración propia, IMTA 2019.

3.2 Artículos elaborados y publicados sobre índices de seguridad hídrica

En el marco del proyecto se publicaron 2 artículos en revistas indizadas y 1 artículo en las memorias de una conferencia internacional en Portugal. Se enviaron a revistas otros 3 artículos, que actualmente se encuentran en arbitraje para publicación, 2 de ellos a revistas indizadas. Se describen a continuación

estos artículos, publicados y en revisión para ser publicados. También se presentó una ponencia en una conferencia internacional en España.

3.2.1 Artículo publicado en Springer Nature Applied Sciences

Springer Nature Applied Sciences es una revista de la editorial internacional de más alto prestigio Springer Verlag, con oficinas centrales en Alemania. Se envió a esta revista el manuscrito con nombre “Municipal level water security indices in México”, de autores Felipe I. Arreguin-Cortés, José Raúl Saavedra-Horita, José Manuel Rodríguez-Varela, Velitchko G. Tzatchkov, Petronilo E. Cortéz-Mejía, Oscar J. Llaguno-Guilberto, Arizabeth Sainos-Candelario, Luciano Sandoval-Yoval, David Ortega-Gaucin, Edgar Yuri Mendoza-Cazares y Salvador Navarro-Barraza, los primeros dos de ellos ex directivos del IMTA, y todos los demás miembros del IMTA actualmente. El autor correspondiente fue el Dr. Velitchko G. Tzatchkov, responsable del proyecto.

Como parte de los requisitos para someter a evaluación un artículo en esa revista, el manuscrito se acompañó de la siguiente descripción de la relevancia del artículo:

“Objective of the paper/research in two sentences:

To propose a methodology for obtaining water security indices, which consider the concepts of risk, hazard and social vulnerability, where hazard comes in the form of water supply and drainage shortage, flooding, pollution, water quality, groundwater depletion and drought indicators, and social vulnerability considers factors such as the educational level of the population, access to health services, illiteracy, housing conditions, unemployment and the proportion of indigenous language population. To apply the proposed methodology on municipal level to Mexico, in a geographic information system environment, using mainly free and officially published information.

Main findings of the paper/research in three sentences:

The proposed methodology, applied at municipal level in Mexico, presents an option for including new topics of high concern, such as risk, hazard, and population vulnerability, besides the known water security challenges of water scarcity, water pollution, adverse effects of hydro meteorological events, growing water conflicts and environmental deterioration of basins and aquifers. These sub-assessments contribute to understanding the implications of water security, and have high potential to track changes over time to inform integrated water resources management practice and define public policies. The use of the proposed methodology can change the perception of which regions in a country are less or more water secure than others.

Subject of the paper/research in three concise sentences:

To develop a methodology for defining and quantifying pertinent water-security indexes, applicable to large developing countries, such as Mexico, a nation of strong meteorological, hydrographic and social contrasts throughout its territory, which impact the various strata of the population in different ways. The introduction of population vulnerability and its components, as a component in the concept and calculation of the water security index, adds a new dimension to the problem of water security, especially important for countries like Mexico where social stratification is high. To apply this methodology at municipal level in Mexico, in a geographic information system environment using mainly free and officially published information.”

El manuscrito fue sometido a arbitraje estricto por evaluadores (reviewers) anónimos expertos internacionales en el tema. En resultado de este arbitraje, que duró más de 3 meses, los evaluadores emitieron las siguientes recomendaciones:

“Reviewer #2: a nice piece of work needing a fine tuning

Reviewer #3: * Research gap should be highlighted in the abstract.

- * Need to highlight the methodological framework.
- * What are the advantages of these methods?
- * Recent research work will be incorporated in the literature review section due to regional and global aspect point of view.
- * Details of GRACE data information should be incorporated in the revised manuscript. How many pixels are covered your study area? and incorporated in the revised manuscript.
- * Results focus on water security index at the municipal level. How to possible 1-degree data to identify the water storage at the municipal level?
- * Strong validation is required for result justification purpose.
- * How to decide minimum and maximum values of water security class?
- * Sensitivity analysis required for parameters justification purposes.
- * Discussion part will be written by comparing previous work in the study area or other areas in the manuscript.
- * Limitation of the work will be incorporated in the revised manuscript.
- * Discussion and conclusions should be separated in the revised manuscript.”

Los comentarios del Reviewer 3 implicaron cambios mayores en el manuscrito. El trabajo sobre estos cambios se repartió entre los autores, y se realizaron los cambios generándose la siguiente contestación, que se envió a la revista en tiempo y forma:

“We, the authors of this paper would like to thank the reviewers for their valuable comments, that have helped us to improve it. All of them are addressed in this revised submission, as described below:

 MEDIO AMBIENTE <small>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</small>	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA
Página 28 de 49	México, 2019	Clave: HC1913.1

Reviewer #2:

Comment: a nice piece of work needing a fine tuning

Response: The manuscript was fine tuned, considering also Reviewer #3's comments.

Reviewer #3:

Comment: Research gap should be highlighted in the abstract.

Response: The following sentences were added to the Abstract in order to highlight the Research gap:

“While some of the impact factors, such as precipitation, drought and floods, are of intrinsically probabilistic nature, others are related to population vulnerability. There have been a small number of studies on water security at global or regional scale that include Mexico, or at local level in Mexico, but none of them consider probabilistic aspects and population vulnerability, neither extend to municipal level.”

Comment: Need to highlight the methodological framework.

Response: A new subsection, subsection 2.1, named “Methodological framework” was added to the manuscript.

Comment: What are the advantages of these methods?

Response: The following paragraph in the new subsection 2.1 “Methodological framework” explains the advantages of these methods:

“The proposed method is based on the information generated by public agencies in the country that is freely accessible, which allows generating hazard, vulnerability and water security maps to be regularly updated at a minimum cost. It is sought that the results obtained serve as a reference to the decision makers for the development of the most vulnerable communities, as well as identifying the areas where it is most necessary to implement public policies (Coneval 2017) that allow a better use of the water resource, with the purpose of increasing water security.”

The following related reference was added:

Coneval (2017). Ficha de monitoreo de políticas sociales. Programa Nacional Hídrico 2014-2018-Resumen del Programa. (Social politic monitoring sheet.

National Water Program 2014-2018. Program overview). 2014-2018 Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (in Spanish). Available online:

https://www.coneval.org.mx/coordinacion/Documents/monitoreo/Fichas_sectoriales/2017/HIDRICO.pdf

Comment: Recent research work will be incorporated in the literature review section due to regional and global aspect point of view.

Response: The following texts, with citations to recent research on water security, were added to the Introduction section:

“Such is its importance for Mexico that it was incorporated into the National Water Program 2019-2024 (still in discussion at the time of writing this paper), considering this concept as a strategic objective, through prevention, resilience and climate change adaptation actions, promoting green infrastructure population center protection and addressing emergencies caused by extreme and anthropogenic natural phenomena (CONAGUA, 2019)”.

“Proper water management must be established in order to face the uncertainty of climate change and future socio-economic conditions (Döll et al. 2015; UNISDR 2015). Therefore, a tolerability of the risk associated with water needs to be established (Hall and Borgomeo 2013), which is linked to the social and economic environment in addition to considering the hazards to which the society is exposed. Varis et al. (2017) proposed to divide water security into 2 groups: direct water security (which deals only with water) and indirect water security (which includes other aspects related to water).”

“A wide range of water-related risks undermine human well-being and can contribute to a policy of instability, violent conflict, human displacement, migration, acute food insecurity; which in turn can undermine municipal, state and even national security (Gleick and Iceland, 2018).”

“Jensen and Wiu (2018) divide water security in cities into four groups: resources, access, risk and governance. Other researchers (Lall and al. 2017) describe 4 fundamental issues that must be addressed: droughts, floods, governance and health; without leaving aside the need to recover, reuse and recycle water (Bakker, 2013). Therefore, water security is a multifaceted problem (James & M., 2017; Bakker, 2013)”

“Regarding water security, the United Nations Organization set out 17 Global Sustainable Development Goals (SDGs), with the goal 6 “Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all. It includes eight global targets, one at 2020 and seven at 2030, that cover the entire water cycle. The United Nations Statistical Commission approved the official list of global SDG indicators in March 2017, including indicators for monitoring progress in SDG 6 targets, which may be complemented by additional national, regional and

thematic indicators (ONU, 2018). Gain et al (2016) proposed a Global Water Security Index (GWSI), based on SDG 6, which integrates physical and socioeconomic criteria of: availability, accessibility to services, safety and quality, and management. The results of its global application include maps for each of the four criteria and for the resulting GWSI, in which the performance of each country can be identified using a scale of “0-1” values representing “low to high” condition.”

The following related recent references were added:

Bakker, P. (2013). Pathways to improved water security- reflections. Elsevier, 172-177.

CONAGUAc (2019) Avances en la elaboración del Programa Nacional Hídrico 2019-2024 (Progress in the development of the National Water Program 2019-2024), Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua (in Spanish). Available online: http://atl.org.mx/images/2019/Avances_PNH.pdf (accessed on 27 07 2019).

Döll, V., Jiménez-Cisneros, B., Oki, T., Arnell, N.W., Benito, G., Cogley, J.G., Jiang, T., Kundzewicz, Z.W., Mwakalila S., and Nishijima, A. (2015) Integrating risks of climate change into water management, *Hydrological Sciences Journal*, Volume 60(1), 4-13, DOI: 10.1080/02626667.2014.967250

Gain, A. K., Giupponi, C. and Wada, Y. (2016). “Measuring global water security towards sustainable development”. *Environmental Research Letters*, DOI:10.1088/1748-9326/11/12/124015.

Gleick, P., & Iceland, C. (2018). *Water, security, and conflict*. En W. R. Institute. Washington, DC : ISBN 1-56973-945-5.

James, D., and Shafiee-Jood, M. (2017). Interdisciplinary information for achieving water security. *Water Security*, Volume 2, November 2017, 19-31 Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.10.001>

Jensen, O., & Huijuan, W. (2018). Urban Water security indicator: development and pilot. *Environmental Science and Policy*, Elsevier, 33-45.

Lall, U., Davids, J., Scott, C., Merz, B., & Lundqvist, J. (2017). Pursing water security. *Water security*, Elsevier, 1-2.

UN. (2018). “Sustainable Development Goal 6-Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation”. New York, New York 10017, United States of America: United Nations Publications.

UNISDR. (2015). Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. <http://unisdr.org/we/inform/terminology>: Geneva, Switzerland.

Varis, O., Keskinen, M., & M., K. (2017). Four dimensions of water security with a case of the indirect role of water in global food security. *Water security*, Elsevier, 36-45.

Comment: Details of GRACE data information should be incorporated in the revised manuscript. How many pixels are covered your study area? and incorporated in the revised manuscript.

Response: The following paragraph was added to the section “Groundwater Depletion”:

“With this spatial resolution, which is equivalent to an area of 12,347.65 km² per pixel, the surface of the country is covered by 159.78 pixels. Despite that this number of pixels is smaller than the number of the 653 aquifers existing in Mexico, the overexploitation areas identified with GRACE agree well with the 101 overexploited aquifers reported by Conagua (Domínguez Mora et al. 2012). It is of course desirable that the resolution thrown by GRACE cover a smaller area, for better detail.”

Moreover, in the same section, “1° surface spatial resolution” was changed to “1° (111.12 km) surface spatial resolution”.

The following related references were added, and mentioned in the text:

Fatolazadeh, Farzam; Behzad Voosoghi, and Mehdi Raoofian Naeeni, (2016) Wavelet and Gaussian Approaches for Estimation of Groundwater Variations Using GRACE Data, Groundwater–January–February, Vol. 54, No. 1– (pages 74–81).

Rodell M., p. R. Houser, u. Jambor, j. Gottschalck, k. Mitchell, c.-j. Meng, k. Arsenault, B. Cosgrove, j. Radakovich, m. Bosilovich, j. K. Entin, j. P. Walker, d. Lohmann, y D. Toll, (2004) The global land data assimilation system, Bull. Am. Meteorol. Soc., 85(3), 381–394.

Comment: Results focus on water security index at the municipal level. How to possible 1-degree data to identify the water storage at the municipal level?

Response: The following paragraph was added to the section “Groundwater Depletion”, to explain the process:

“Depletion data at municipal level were obtained by geographic information system processing tools, interpolating the given raster depletion information over the municipality polygons, in order to establish an average value for each of them.”

Comment: Strong validation is required for result justification purpose.

Response: The following paragraphs, and three figures (Figures 10 and 11) were added to the section “Discussion”, to explain the result validation:

“For result validation, the computed social vulnerability was first compared to official information from the Mexican National Council for the Evaluation of

Social Development Policy (CONEVAL 2019) where four ranges of poverty in the municipalities are presented, based on the economic and social dimensions indicated in the Mexican General Law of Social Development: income, educational lag, access to health services, access to social security, quality and space of housing, basic services in housing, access to food, and degree of social cohesion. The corresponding map, presented in Figure 10, is practically coincident with our results in the areas of greatest poverty. being the differences between that map and the map in Figure 7 explained by the different data sources and processing methods.

For further validation, the water security results were compared to the map presented in Figure 11, published by the Mexican National Water Commission. That map presents the most disadvantaged areas of the country, where government investment for year 2019 is essential and priority. The agreement is good, with some differences that probably are due to the different data fed for both maps (CONAGUA 2019)."

"In a more general way, the results were also compared to the global water security index (GWSI), based on SDG 6., obtained for Mexico by Gain et al (2016). In the global world map of the availability index, integrated in turn by the water scarcity index, the drought index, and by the depletion of aquifers, the average value observed for Mexico is ≈ 0.50 . The accessibility index varies between ≈ 0.69 and ≈ 0.81 ; the quality and protection index ≈ 0.44 in some areas and ≈ 0.25 to 0.31 in the rest; the management index between ≈ 0.56 and 0.63 , except at the borders, and the GWSI ≈ 0.5 . When comparing the map of the proposed municipal water security index (Figure 9), with the map of the global water security index presented by Gain et al. 2016, a clear coincidence of low water security can be observed in the states of Guerrero, Oaxaca, Chiapas and Veracruz, as well as in a part of Sonora."

The following related references were added, and mentioned in the text:

CONAGUA (2019) Avances en la elaboración del Programa Nacional Hídrico 2019-2024 (Progress in the development of the National Water Program 2019-2024), Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua (in Spanish). Available online: http://atl.org.mx/images/2019/Avances_PNH.pdf (accessed on 27 07 2019).

CONEVAL (2019) Medición de la pobreza a nivel municipio 2010, (Poverty measurement at municipal level 2010). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (in Spanish). Available online: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx>

Gain, A. K., Giupponi, C. and Wada, Y. (2016). "Measuring global water security towards sustainable development". Environmental Research Letters, DOI:10.1088/1748-9326/11/12/124015.

Comment: How to decide minimum and maximum values of water security class?

Response: The following paragraph was added to the section “Results”, to explain how minimum and maximum values of water security class were decided:

“The maximum and minimum values in the maps shown above, and that of the water security index, were obtained through first by multiplying hazard by social vulnerability, then the Jenks natural breaks classification algorithm (Jenks 1967) was applied to obtain the best arrangement of values into different homogeneous classes. The homogenization was established in five classes for each of the maps (very high, high, medium, low and very low) in order to facilitate its visualization and interpretation.”

The following related reference was added, and mentioned in the text:

Jenks G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.

Comment: Sensitivity analysis required for parameters justification purposes.

Response: The following paragraph was added to the section “Conclusions”:

Sensitivity analysis was not considered at this stage of the work, given the high geographic, climatic, social, cultural and economic parameter heterogeneity present in Mexico and in the indicators, but may be considered in future work,

Comment: Discussion part will be written by comparing previous work in the study area or other areas in the manuscript.

Response: The following paragraphs on comparing the results with previous work in the study area, and two figures (Figures 10 to 12) were added to the section “Discussion”:

“For result validation, the resulting social vulnerability was first compared to official information from the Mexican National Council for the Evaluation of Social Development Policy (CONEVAL 2019) where four ranges of poverty in the municipality are presented, based on the economic and social dimensions indicated in the Mexican General Law of Social Development: income, educational lag, access to health services, access to social security, quality and space of housing, basic services in housing, access to food, and degree of social cohesion. The corresponding map, presented in Figure 10, is practically coincident with our results in the areas of greatest poverty, being the differences between that map and the map in Figure 7 explained by the different data sources and processing methods.

For further validation, the water security results were compared to the map presented in Figure 11, published by the Mexican National Water Commission. That map presents the most disadvantaged areas of the country, where government investment for year 2019 is essential and priority. The agreement is good, with some differences that probably are due to the different data fed for both maps (CONAGUA 2019).”

“In a more general way, the results were compared to the global water security index (GWSI), based on SDG 6., obtained for Mexico by Gain et al (2016). In the global world map of the availability index, integrated in turn by the water scarcity index, the drought index, and by the depletion of aquifers, the average value observed for Mexico is ≈ 0.50 . The accessibility index varies between ≈ 0.69 and ≈ 0.81 ; the quality and protection index ≈ 0.44 in some areas and ≈ 0.25 to 0.31 in the rest; the management index between ≈ 0.56 and 0.63 , except at the borders, and the GWSI ≈ 0.5 . When comparing the map of the proposed municipal water security index (Figure 9), with the map of the global water security index presented by Gain et al. 2016, a clear coincidence of low water security can be observed in the states of Guerrero, Oaxaca, Chiapas and Veracruz, as well as in a part of Sonora.”

The following related references were added, and mentioned in the text:

CONAGUA (2019) Avances en la elaboración del Programa Nacional Hídrico 2019-2024 (Progress in the development of the National Water Program 2019-2024), Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua (in Spanish). Available online: http://atl.org.mx/images/2019/Avances_PNH.pdf (accessed on 27 07 2019).

CONEVAL (2019) Medición de la pobreza a nivel municipio 2010, (Poverty measurement at municipal level 2010). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (in Spanish). Available online: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx>

Gain, A. K., Giupponi, C. and Wada, Y. (2016). “Measuring global water security towards sustainable development”. Environmental Research Letters, DOI:10.1088/1748-9326/11/12/124015.

Comment: Limitation of the work will be incorporated in the revised manuscript.

Response: Some limitations of the work were in fact contained in the original manuscript, e.g., in the last paragraph in page 15, and in the last paragraph of the “Discussion and Conclusions” section. To further explain the limitations, the following paragraph was added to the section “Conclusions”:

Other limitations, to be addressed in future work, include:

- Water availability is not considered at municipal level, since the relevant information is available at basin level.

- Water quality

- Climate change impact, and its medium and long-term effects.

Comment: Discussion and conclusions should be separated in the revised manuscript.

Response: Done.

Como resultado de las solventaciones realizadas, el artículo fue aceptado para publicación y publicado, como artículo de libre acceso, en el volumen 1:1194 (2019) de Springer Nature Applied Sciences, con identificador digital <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1180-2>. El mismo se adjunta como Anexo 2 de este informe, y también puede ser bajado, sin costo, de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs42452-019-1180-2>.

3.2.2 Artículo publicado en Revista Tecnología y Ciencias del Agua

La Revista Tecnología y Ciencias del Agua es una revista indizada editada por el IMTA. Se envió a esta revista el manuscrito con nombre “Graph theory based single and multiple source water distribution network partitioning / Sectorización basada en la teoría de los grafos de redes de distribución de agua potable con una y con múltiples fuentes”, relacionado con temas que se tratan en el libro objeto del proyecto, de autores Velitchko G. Tzatchkov y Victor H. Alcocer-Yamanaka, el segundo de ellos ex directivo del IMTA. El autor correspondiente fue el Dr. Velitchko G. Tzatchkov, responsable del proyecto. El manuscrito fue sometido a arbitraje estricto por evaluadores anónimos, aceptado para publicación, y publicado, como artículo de libre acceso, en el volumen 10, núm. 6 de la revista, con identificador digital <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-08>. El mismo se adjunta como Anexo 3 de este informe, y también puede ser bajado, sin costo, de <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-08>.

3.2.3 Artículo publicado en el libro de memorias de SEREA 2019, Portugal

SEREA es el nombre de un Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua, que se celebra periódicamente en diferentes países de América Latina, España y Portugal. La edición 2019 de este evento tuvo lugar del 15 al 17 de julio en Lisboa, Portugal. Se envió al comité organizador del evento, el manuscrito con nombre “Disponibilidad del recurso hídrico para agua potable y demás usos”, de autores Petronilo E. Cortéz Mejía, Velitchko G. Tzatchkov, Juan Fco. Gómez Martínez, Óscar J. Llaguno Guilberto y José Manuel Rodríguez Varela, todos ellos del IMTA.

El autor correspondiente fue Petronilo Cortéz Mejía. El manuscrito fue sometido a arbitraje por evaluadores anónimos y aceptado para publicación en el libro de memorias que se generó, denominado “Atas do XVI Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem Técnico | Lisboa | 15-17 Julho 2019”, a pesar de que ninguno de los autores asistió al evento. El mismo se adjunta como Anexo 4 de este informe, y también puede ser bajado, sin costo, de <http://www.serea2019.pt/>.

3.2.4 Artículo en revisión en Journal Sustainable Earth de Springer

Sustainable Earth es una revista de la editorial internacional de más alto prestigio Springer Verlag, con oficinas centrales en Alemania. Se envió a esta revista el manuscrito con nombre “State level water security indices in Mexico”, de autores Felipe I. Arreguín-Cortés, José Raúl Saavedra-Horita, José Manuel Rodríguez-Varela, Velitchko G. Tzatchkov, Petronilo E. Cortéz-Mejía, Oscar J. Llaguno-Guilberto, Arizabeth Sainos-Candelario y Juan Fco. Gómez-Martínez, los primeros dos de ellos ex directivos del IMTA, y todos los demás miembros del IMTA actualmente. El autor correspondiente fue el Dr. Velitchko G. Tzatchkov, responsable del proyecto.

El manuscrito fue sometido a arbitraje estricto por evaluadores (reviewers) anónimos expertos internacionales en el tema. En resultado de este arbitraje, que duró más de 9 meses, emitieron las siguientes recomendaciones:

“The manuscript proposes a methodology to assess water security "using mainly free and officially published information, combined with international information about comparison between countries, especially for countries where such information is limited".

The paper is interesting for researchers and practitioners.

I think the paper needs a major revision that includes:

- improvement of the State of the art. It is not satisfactory in the current manuscript.
- insert a flow chart and a description of the proposed procedure.
- insert more details (and discussions) about the weights used to define the Global index;
- a sensitivity analysis can be proposed to investigate the capacity of index to be robust independent of the arbitrary choice of weights;
- the section "3. Results" is too short. I suggest to extend it inserting more information, details and comments. If this is not possible, the section could be combined with the Discussion section.
- improve the English language.”

Estos comentarios implicaron cambios mayores en el manuscrito. El trabajo sobre estos cambios se repartió entre los autores, y se realizaron los cambios generándose la siguiente contestación, que se envió a la revista en tiempo y forma:

“We, the authors of this paper, would like to thank the reviewer for his or her valuable comments, that have helped us to improve it. All of them are addressed in this revised submission, as described below:

Comment: - improvement of the State of the art. It is not satisfactory in the current manuscript.

Response: The State of the art was improved. The following text was added (highlighted in yellow in the revised manuscript):

A watershed sustainability index, which integrates social, economic and environmental impacts using a pressure-state-response model, was proposed in [11] and applied to a 2200 km² basin in Brazil, thereby obtaining a value of 0.65, which represents an average sustainability value for the basin. Using a pressure-state-impact-response model, van Ginkel et al. [12] developed a dashboard of 56 indicators to establish a water security index and applied the index to ten cities. In their approach, the highest water security levels were obtained in wealthy cities in water-abundant environments, in which security is determined by the ability of the city to mitigate flood risks and to sustain the hinterland water supply dependency, as opposed to the lowest security in developing cities where the combination of high socioeconomic pressures (e.g., rapid population growth, slums, low GDP, and polluting industries) and inadequate responses (weak institutions and poor planning and operational management) leads to the inappropriate fulfilment of most functions of the urban water system.

Makin et al. [13] integrated an index that considers five water security dimensions, i.e., domestic, economic, urban, environmental and disaster resilience, and applied it to 7 countries in Asia and 13 countries in America, Africa and Europe, with no conclusive results. Shrestha et al. [14] developed a water security index to characterize the actual field conditions using a model centered on household water-use behavior in urban areas of developing countries, which can be used to design policies and programs in small communities in such countries. Assefa et al. [15] noted that water security indices have been developed at the global, regional and country levels but that there is a clear absence of indices at the domestic level, considering the water supply, sanitation and hygiene. Using twelve indicators, they developed an index that was applied to the city of Addis Ababa, Ethiopia. The water supply dimension was found to be at a good level, whereas the sanitation and hygiene dimensions were poor and fair, respectively, concluding that the index can be a useful tool for water utilities.

The following five related references were added:

11. Chaves, H. M. L.; Alipaz, S. An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management*. May 2007. DOI: 10.1007/s11269-006-9107-2. Springer Verlag.
12. Kees C. H. van Ginkel; Arjen Y. Hoekstra; Joost Buurman; and Rick J. Hogeboom. Urban Water Security Dashboard: Systems Approach to Characterizing the Water Security of Cities. *ASCE 04018075-1 J. Water Resour. Plann. Manage.* J. Water Resour. Plann. Manage., 2018, 144(12): 04018075
13. Ian W Makin, Wouter Lincklaen Arriens, and Narciso Prudente. Indicators for assessing national water security: Asia Water Development Outlook 2013. Proceedings from the GWP workshop: Assessing water security with appropriate indicators. www.gwp.org.
14. Sadhana Shrestha, Yoko Aiharab, Arun P. Bhattarai, Niranjana Bista, Naoki Kondoh, Kazama Futaba, Kei Nishida, Junko Shindo. Development of an objective water security index and assessment of its association with quality of life in urban areas of developing countries, *SSM-Population Health*. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/ssmph, [://doi.org/10.1016/j.ssmph.2018.10.007](https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2018.10.007)
15. Yonas T. Assefa, Mukand S. Babel, Janez Sušnik and Victor R. Shinde. Development of a Generic Domestic Water Security Index, and Its Application in Addis Ababa, Ethiopia. *Water* 2019, 11, 37; doi:10.3390/w11010037 www.mdpi.com/journal/water

Comment: insert a flow chart and a description of the proposed procedure; and

Comment: insert more details (and discussions) about the weights used to define the Global index;

Response: to respond to those two comments, a flow chart was inserted (Figure 2 in the revised manuscript) and the following text description was added (highlighted in yellow in the revised manuscript):

Table 4 and Figure 2 explain the proposed conceptual framework and process for obtaining the GWSI at the state level, which is in fact an adaptation of the methodology described by [3] that integrates physical and socioeconomic dimensions but with a particular data collection and processing approach used, including normalization and aggregation. Each of the four criteria of the GWSI, i.e., availability, accessibility, safety and quality, and management, is in turn integrated by the indicators shown in the flowchart in Figure 2. Each indicator and criterion is weighted to express its relative contribution to the GWSI. The same weights that were defined by [3] were also used, as shown in the flow chart.

The highest relevance is assigned to the availability (45%), compared to the accessibility (20%), safety and quality (20%), and management (15%).

The data for each of the indicators are collected from different sources, and as the indicator values have different units of measurement, they are normalized from 0 to 1 to be compared with other indicators. Official annual data were used for the availability, accessibility, and quality and safety, mostly from 2015. For management, the same data sources used by [3] were employed, although the governance country level data are from 2015 instead of 2010. Then, the GWSI is calculated by aggregating the indicators by simple additive weighting (SAW). The detailed adaptation procedure at the state level (instead of at the country level) is described above in the respective sections for each GWSI component.

The weighting used is subjective; therefore, as recommended in [3], in future practical applications of this adapted methodology, it is convenient to conduct validation meetings in each of the states, in which local experts can formulate proposals for improvement, including adjustments to the weights of all criteria and their indicators. Although it is clear that availability must be assigned the greatest weight, it is also true that the management of water resources impacts its preservation, and therefore, it must be evaluated whether a management weight of 15% is adequate.

Comment: a sensitivity analysis can be proposed to investigate the capacity of index to be robust independent of the arbitrary choice of weights;

Response: A whole new two and a half pages section, section 4, named "Sensitivity analysis", was added. Besides text explanation, this section includes a figure, a table, and an equation.

Comment: the section "3. Results" is too short. I suggest to extend it inserting more information, details and comments. If this is not possible, the section could be combined with the Discussion section.

Response: The section "3. Results" was expanded, with a new table, Table 5, and following text:

Table 5 lists, per Mexican state, its population, percentage of urban area, and state marginalization degree (SMD) expressing the general economic condition of the state [48]. From the GWSI analysis, there are seven Mexican states with values between 0.46 and 0.52, which, according to the classification obtained, is considered a low GWSI index. These states are Baja California, Sonora, Sinaloa, Colima, Aguascalientes, Guanajuato and Mexico City. The population of these seven states is on the order of 26.08 million inhabitants, which represents approximately 21.7% of the total population of Mexico. It should be noted that although the GWSI is low, the SMD in three of these states is also very low.

The states of Sonora, Baja California, Aguascalientes, and Guanajuato, according to Arreguín-Cortes [49] and Ortega-Gaucin [50], are located in regions of Mexico that are most likely to suffer the effects of drought and in which water availability has become a problem due to the overexploitation of aquifers [49]. Mexico City, with a population close to 8.99 million inhabitants, and with 41.02% of its total area of 1487.48 km² urbanized, faces the need to import water from other watersheds, thereby becoming a low-GWSI urban area in Mexico. On the other hand, two of the states with the highest GWSI (Campeche, Chiapas, Nayarit, Oaxaca, San Luís Potosí, Tabasco and Yucatán) have a very high SMD, and in one of these states, the SMD is high.

The urban area percentage provides a better interpretation of the results since the north of Mexico has areas with greater territorial extension but a smaller portion of the urbanized area where water security must be guaranteed, which is favorable for water security. The states of Aguascalientes and Mexico City have larger problems with respect to their urban area; on the other hand, the states of Yucatan and Nayarit are those that have a higher water security and are home to a larger population with respect to their extension per state.

Comment: improve the English language

Response: The revised manuscript was edited by Nature Research Editing Service, which is a reputable English language editing service affiliated to the Journal. The corresponding English language editing certificate is included.”

A la fecha de escribir este informe, no se ha recibido respuesta del Journal Sustainable Earth de esta contestación.

3.2.5 Artículo en revisión en Revista Tecnología y Ciencias del Agua

Se envió a la revista el manuscrito con nombre “Generación de índices de seguridad hídrica municipal con un enfoque probabilista”, relativo a temas que se tratan en el libro objeto del proyecto, de autores Felipe I. Arreguín-Cortes, José Raúl Saavedra-Horita, José Manuel Rodríguez-Varela, Velitchko G. Tzatchkov, Petronilo E. Cortéz-Mejía, Oscar J. Llaguno-Guilberto, Edgar Yuri Mendoza-Cazares, Arizabeth Sainos-Candelario, Juan Fco Gómez Martínez y David Ortega-Gaucin, los primeros dos de ellos ex directivos del IMTA, y todos los demás miembros del IMTA actualmente. El autor correspondiente fue el Dr. Velitchko G. Tzatchkov, responsable del proyecto. El manuscrito fue recibido por la revista que inició el proceso de arbitraje correspondiente. A la fecha de escribir este informe, no se ha recibido comunicación al respecto por parte de la revista.

3.2.6 Ponencia en las VI Jornadas de Ingeniería del Agua, España y artículo en revisión en Revista Ingeniería del Agua, España

El evento internacional Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA) se creó en 2009 para dar respuesta a la necesidad de tener un foro de intercambio en español en temas de investigación sobre la ingeniería del agua, y se ha consolidado hoy día como un encuentro bienal de carácter científico-técnico que reúne a los mejores expertos nacionales e internacionales. Es promovido conjuntamente por la Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua (FFIA) y el Capítulo Español de la Internacional Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). En este año 2019 las VI Jornadas de Ingeniería del Agua tuvieron lugar del 22 al 25 de octubre de 2019 en Toledo, España. Dado que los temas que se presentarán en las Jornadas de Ingeniería del Agua son importantes para los trabajos que actualmente desarrolla el IMTA, en temas de Seguridad Hídrica, a la luz del reciente establecimiento del instituto como Centro Regional UNESCO Categoría 2 sobre Seguridad Hídrica; y con el objetivo de participar en intercambio de experiencias técnicas y de investigación con otros expertos de Iberoamérica, se envió al comité organizador del evento el manuscrito con nombre “Calidad del agua y seguridad ante inundaciones en la gestión sostenible del recurso hídrico”, de autores Petronilo E. Cortéz Mejía, Velitchko G. Tzatchkov, José Manuel Rodríguez Varela y Óscar J. Llaguno Guilberto, todos ellos miembros del IMTA. El autor correspondiente fue Petronilo E. Cortéz Mejía. El manuscrito fue sometido a arbitraje por evaluadores anónimos y aceptado para presentación oral en el evento, así como para publicación, pero, dada la calidad y contenido técnico del manuscrito, los organizadores del evento propusieron dos opciones para tal publicación, la primera de ellas en el libro de memorias del evento, y la segunda publicarlo en la revista Ingeniería del Agua que se edita en Valencia, España.

La revista Ingeniería del Agua surge de la asociación de la Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua (FFIA) y la International Water Association (IWA) con el objetivo de promover una revista que permita la difusión y discusión de avances científicos en torno a la Ingeniería del Agua en español y portugués, en el ámbito de la gestión integral de los recursos hídricos, la hidrología e hidrogeología, la dinámica de ríos, embalses, estuarios y áreas costeras, las infraestructuras hidráulicas y portuarias, los riego y drenajes, las máquinas hidráulicas y el agua urbana. Con este fin, la revista es de acceso abierto, dirigida a la publicación de artículos de alto nivel científico, con revisión por pares, siguiendo los estándares de calidad en la gestión del artículo para su indexación y la rápida visualización desde los buscadores más usados.

Los autores elegimos la publicación en esta revista, debido a lo cual el artículo no se publicó en las memorias de las Jornadas de Ingeniería del Agua 2019. El Ing. Petronilo Cortéz no obstante asistió en el evento, y presentó la ponencia respectiva. Se realizaron las adecuaciones al manuscrito, de acuerdo con los



requisitos a la revista Ingeniería del Agua, y se envió. Fue recibido por la revista que inició el proceso de arbitraje correspondiente. A la fecha de escribir este informe, no se ha recibido comunicación al respecto por parte de la revista.

4 CONCLUSIONES

La presente tercera etapa del proyecto, culmina el trabajo realizado en las dos etapas anteriores del mismo, de los años 2017 y 2018, con la elaboración de un libro institucional sobre los índices de seguridad hídrica, y varios artículos publicados sobre el tema. El libro elaborado trata de la seguridad hídrica en general, de índices de seguridad hídrica estatal y municipal, y de temas selectos de la seguridad hídrica urbana. Al tratarse de indicadores de seguridad hídrica, dada la aprobación reciente del IMTA como Centro Regional UNESCO de Seguridad Hídrica Categoría 2, del libro se beneficiará la Comisión Nacional del Agua, las Comisiones Estatales de Agua, Organismos Operadores Municipales y otras instituciones de los tres niveles de gobierno en México, relacionadas con la planeación y asignación de recursos para la gestión integrada de los recursos hídricos y la seguridad hídrica, así como instituciones similares de otros países de la región de América Latina y el Caribe.

Los elementos clave para lograr la seguridad hídrica urbana se encuentran en los siguientes puntos:

- Acceso a agua potable segura y suficiente para satisfacer las necesidades básicas, incluidos en saneamiento y la higiene
- Conservación y protección de los ecosistemas
- Suministro de agua para el desarrollo socioeconómico
- Desalojo y tratamiento del agua residual
- Capacidad para hacer frente a los peligros relacionados con el agua, como inundaciones, sequías y contaminación
- Buena gobernanza y la rendición de cuentas.
- Infraestructura adecuadamente planificada, operada y mantenida; y desarrollo de capacidades.

Los factores principales que inducen o incrementan los riesgos para la seguridad hídrica son los procesos demográficos, la creciente demanda de alimentos, tanto por crecimiento demográfico como por cambios en la dieta, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua. Una sociedad segura es la que tiene un sistema de gestión y la infraestructura capaces de mantener en un nivel aceptable los riesgos actuales y dispone de la capacidad de adaptación para atender los riesgos del futuro. El concepto de seguridad hídrica ha tenido un amplio uso a nivel global asociado a otros objetivos críticos para el desarrollo de la humanidad, como son los de seguridad alimentaria y seguridad energética.

La escasez no es la única fuente de problemas de seguridad relacionados con el agua. El exceso de agua provoca inundaciones, pérdidas económicas y muerte de personas, y es una amenaza constante en muchos lugares del mundo. Asimismo, la contaminación del vital líquido como consecuencia del desarrollo económico

e industrial, la intensificación y expansión de la agricultura y el crecimiento de las zonas urbanas, han contribuido a la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en varias regiones, poniendo en riesgo la seguridad hídrica de millones de personas.

La gestión del recurso hídrico, el desarrollo de la agricultura de riego y el desarrollo de los biocombustibles, son temas que requieren visiones integradas para controlar los impactos negativos y potenciar sus beneficios para una mejor seguridad hídrica, alimentaria y energética. Es importante tener presente que el desafío de la seguridad hídrica, también tiene diferencias significativas con los otros dos. Mientras que en relación con la alimentación y la energía existen mercados globales que, en general, inciden directamente en el acceso a dichos bienes, en el caso del agua inevitablemente el acceso depende de los factores locales, como son la demanda de agua y las fuentes de abastecimiento ubicadas en el entorno geográfico, teniendo el comercio mundial solo un papel indirecto.

Al tener la seguridad hídrica una compleja y estrecha relación con las políticas económicas y otras políticas sectoriales, los niveles de riesgo debieran corresponder a un balance entre diversos objetivos de política, con el propósito de que la mayor seguridad en una de ellas no implique una reducción inaceptable en otras.

El fenómeno de la sequía constituye una de las mayores amenazas para la seguridad hídrica y alimentaria de nuestro país, tal como lo demuestran los registros históricos y recientes de los impactos que han tenido las sequías en la población y en los medios de vida durante las distintas etapas del desarrollo nacional. México tiene características ambientales que lo hacen particularmente vulnerable ante la sequía, pues más de la mitad del territorio nacional presenta condiciones áridas y semiáridas. Este factor hace que la región norte y la altiplanicie mexicana en su conjunto, padezcan graves desequilibrios hídricos cuando se presenta el fenómeno, y que los sectores altamente dependientes del agua como la agricultura y la ganadería, sufran desastres con cierta regularidad.

Los efectos del cambio climático tendrán secuelas en la disminución de la precipitación en la mayor parte del norte del país, con lo que se espera que se incremente la frecuencia y severidad de las sequías. Indudablemente, ello tendrá incidencia directa sobre los estados y municipios más vulnerables, cuyas características socioeconómicas y ambientales (población en condiciones de pobreza, marginación y rezago social; actividad agropecuaria expuesta y sensible a las variaciones del clima porque carece de infraestructura adecuada, de asistencia técnica, de financiamiento y seguros; y deterioro grave de los recursos naturales caracterizado por la deforestación, la degradación del suelo y la sobreexplotación de acuíferos; entre otras), los hacen particularmente sensibles a las variaciones climáticas.

Por lo anterior, se requiere la coordinación entre los niveles de gobierno, los interesados e involucrados en los servicios del agua para mantener el equilibrio que permita el cumplimiento coordinado y sostenible de los derechos, garantizando las condiciones de acceso, disponibilidad, calidad, cantidad y asequibilidad. Considerando los requerimientos planteados, es fácil entender que el agua posee características intrínsecas que lo vuelven altamente sensible y dependiente de la gobernanza, la cual vincula diversos sectores, lugares y personas, en diferentes escalas geográficas y temporales. Una de las principales complicaciones para lograr la adecuada gobernanza del agua en México, es resolver las diferencias en las fronteras de las cuencas hidrológicas y los perímetros administrativos, los cuales en la mayoría de los casos no coinciden en ambas delimitaciones, lo que dificulta la gestión del agua dulce (superficial y subterránea), al involucrar los diferentes grupos sociales de personas organizadas para la toma de decisiones, las cuales incluyen acciones políticas y de desarrollo de proyectos.

La política del agua es compleja y está estrechamente vinculada a las acciones que son fundamentales para el desarrollo económico, incluyendo la salud, el medio ambiente, la agricultura, la energía, el desarrollo regional, por citar algunos ejemplos, incluyendo la planeación del desarrollo urbano y la mitigación de la pobreza. La gobernanza del agua es el medio político, estratégico, social, económico y de gestión integrada del agua que coadyuva para implementar las acciones que conduzcan alcanzar la seguridad hídrica, la que a su vez garantiza a cada persona el contar con agua segura, a un costo accesible en cantidad y calidad para la satisfacción de sus necesidades, favoreciendo una vida sana y productiva. Especialmente para que las comunidades sean protegidas con acciones definidas que coadyuven a prevenir las inundaciones, sequías y enfermedades de origen hídrico. Con la seguridad hídrica se promueve la protección ambiental y la justicia social atendiendo los usos y costumbres de los pueblos por conflictos y disputas que puedan presentarse a partir de recursos hídricos compartidos.

Ante esta situación la gobernanza del agua en México, puede contribuir en gran medida en el diseño e implementación de políticas públicas asumiendo una responsabilidad compartida entre los tres niveles de gobierno, sociedad civil, sector empresarial, sector académico y los actores interesados e involucrados en la situación actual del agua, por ser parte fundamental para lograr los beneficios económicos, sociales y ambientales para el bienestar de todos los ciudadanos y garantizar la seguridad hídrica del país.

Por lo consiguiente la gestión y gobernanza del agua son elementos transversales a los criterios de seguridad hídrica relacionados a la *disponibilidad, accesibilidad de los servicios del agua, seguridad y calidad*, que se deben aplicar de manera interrelacionada, para consolidar la seguridad hídrica.

Con el propósito de fortalecer la seguridad hídrica nacional, es substancial que continúe la implementación de políticas públicas a nivel nacional orientadas hacia la gestión integrada del riesgo de sequía, de tal manera que se reduzca la vulnerabilidad de la población y se fortalezcan las capacidades comunitarias e institucionales para hacer frente a este tipo de anomalías climatológicas.

La seguridad hídrica se concentra en tres grandes problemas: la insuficiente disponibilidad, la contaminación del recurso, y los riesgos generados por fenómenos naturales o antropogénicos relacionados al agua. Estos tres grandes retos se presentan también en las zonas urbanas, debido a su alta densidad de población genera que éstas sean incapaces de cubrir su suministro desde dentro del área urbana en sí, lo que obliga a trasvasar agua de otras cuencas aledañas a la zona urbana.

La seguridad hídrica en las zonas urbanas se relaciona con temas trascendentales que se tratan en el libro elaborado, como inundaciones y las tecnologías de bajo impacto para evitar o mitigar los daños generados por éstas, mejoramiento de las eficiencias física y comercial de los sistemas de agua potable, índices y modelos para planificar la renovación de tuberías y medidores de consumo, sectorización de las redes, recolección y aprovechamiento de agua de lluvia, indicadores de gestión de organismos operadores, y otros.

La urbanización de las cuencas puede conducir a la contaminación por fuentes puntuales y no puntuales de ríos, lagos y humedales. Impactando los ecosistemas acuáticos, mientras que las superficies impermeables reducen la calidad del agua y los niveles de agua subterránea.

La accesibilidad a los servicios de agua potable y saneamiento es uno de los criterios que conforman la seguridad hídrica. Los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, implican, además de las coberturas respectivas, la satisfacción de varios requisitos en cada uno de los tres para que se considere una accesibilidad total a los mismos; por ejemplo en el servicio de agua potable son: que sea accesible en el domicilio, que el agua suministrada esté libre de contaminación, y que esté disponible cuando se necesita (continuidad). Al cubrirse los tres servicios y satisfacerse sus requisitos, se cumple también el *ciclo integral del agua*, en este caso de uso público urbano, manteniendo la circulación del agua mediante su uso y devolución al medio en las mejores condiciones de calidad posibles, tal como se da el ciclo hidrológico en la naturaleza, con el fin de que pueda seguir siendo utilizada.

La sectorización de las redes de agua potable es un elemento importante de la seguridad hídrica urbana, como un proceso de mejora de eficiencia física, comercial y global, partiendo de un panorama global de la red, con un plan de gestión integral de la mejora de los servicios, con una visión de largo plazo pero formado por etapas de corto plazo y resultados claros y cuantificables, que sean

económicamente atractivos para el organismo operador y que el usuario pueda comprobar la mejora del servicio que recibe y esto a su vez deberá ser reforzado con la mejora de eficiencia comercial. Debe establecerse, sin embargo, que la sectorización es un mecanismo para mejorar el funcionamiento de una red existente que presenta problemas de eficiencia física; una red de distribución de agua potable que está diseñada correctamente, que se opera de forma adecuada, que cuenta con mantenimiento preventivo y correctivo de forma continua y en la cual no se ha afectado el equilibrio entre la oferta y la demanda, no requeriría un programa de sectorización, puesto que de origen el suministro a la población cumple con las características de cantidad y calidad. Por tanto, debe enfatizarse que la sectorización no es la respuesta a todos los problemas de la red, no es por sí sola una solución a de eficiencia física; la sectorización es una parte de un plan integral de eficiencia global.

La aplicación de un programa de mejora de eficiencia física de los sistemas de agua potable va más allá de la operación de las redes de distribución, implica cambiar la forma de vivir de la sociedad, entender y respetar el equilibrio del ciclo del agua, proteger los sitios de recarga de los acuíferos, tomar como referencia principal la disponibilidad de agua para uso y consumo de los habitantes en la integración de los planes de desarrollo municipal y para la factibilidad de aplicar la población o la industria y garantizar que las descargas, producto del uso urbano no afecten la calidad del agua de los cuerpos receptores.

A pesar de los avances que existen para el estudio de inundaciones en zonas urbanas, se requiere de una interlocución entre los tomadores de decisión y la parte académica a fin de realizar obras y establecer políticas públicas que reduzcan el impacto que provocan estos fenómenos que mitiguen la vulnerabilidad de la ciudad en cuestión fortaleciendo la resiliencia y sustentabilidad. Se requiere hacer llegar a la población de las diferentes ciudades del país a qué nivel de riesgo esta comprometidos sus hogares en caso de que se presenten diferentes precipitaciones, esto ayudaría a que tomen medidas para mitigar el impacto con obras que impidan el paso del agua a sus hogares.

Para colaborar en el tema de la seguridad hídrica, en el uso del agua en zonas urbanas, que los tres gobiernos (Federal, Estatal y Municipal) trabajen más de cerca y comprometidos en las metas de incremento y control de pérdidas a corto, mediano y largo plazo para mejorar los sistemas de distribución, reducir pérdidas físicas y disminuir la energía utilizada para el suministro. S requiere fortalecer los programas de cultura del agua y cambiar su enfoque de un mejor manejo del agua por parte de la sociedad a un enfoque más global de la escasez del recurso hídrico, generar conciencia del problema a usuarios, personal que opera las redes de distribución, funcionarios públicos, urbanistas, medios de comunicación; de tal forma que se pueda cambiar el concepto global.



La adopción de medidas de infraestructura verde podría proporcionar una mayor resiliencia ante el cambio climático futuro, ya que la infraestructura verde es eficaz para moderar los posibles efectos del cambio climático, como las temperaturas extremas y el aumento de la escorrentía superficial. El uso de estas prácticas de infraestructura verde produce un control significativo de aguas pluviales para eventos pequeños, pero menor para eventos de inundación; sin embargo, al combinarse con infraestructura verde, se eleva su eficiencia para controlar la escorrentía, tanto para inundaciones como para eventos frecuentes de lluvia. En México existen ciudades que empiezan adoptar la infraestructura verde como método de amortiguamiento de los escurrimientos, tenido como mejora colateral (en casos de infraestructura que aplique) la calidad del agua que se infiltra, ahora solo falta que alguna dependencia o entidad emita algún manual para conocer bajo tablas o gráficas su efectividad al tiempo de atenuar o reducir el pico de la avenida; por lo que se requiere este tipo de contenido para que los tomadores de decisión conozcan las bondades de la colocación de este tipo de infraestructura y así también se establezca los riesgos a los que están propensos la población al tiempo de ser sobrepasada la capacidad de la infraestructura.

Lograr la seguridad del agua no es un objetivo estático; está sujeta a constante cambio que se altera con numerosos desafíos, tanto climáticos como no climáticos. Por lo tanto, la seguridad hídrica futura depende no solo de satisfacer una mayor demanda, sino también de la manera en que los humanos pueden usar los recursos hídricos limitados para satisfacer estas necesidades.

La seguridad hídrica es transversal a todos los aspectos del desarrollo económico; las personas asignan significado al concepto de seguridad hídrica dependiendo de la escala y el contexto particular en el que es aplicado; la seguridad hídrica nunca podrá ser alcanzada totalmente porque las condiciones físicas y económicas están en constante cambio, lo que requiere la adaptación continua; no existe una única solución para aumentar la seguridad hídrica. Las soluciones deben adaptarse a las condiciones locales en cada país, cuenca, ciudad, proyecto o área de gestión; la seguridad hídrica y la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) son simbióticas, la gestión adaptativa inmersa en los procesos de la GIRH ayuda a mejorar la seguridad hídrica del nivel nacional al local; la seguridad hídrica debe ser vista como la meta de la GIRH.

5 ANEXOS

5.1 Anexo 1 Libro ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA editado

Se adjunta en formato digital.

5.2 Anexo 2 Artículo publicado en Springer Nature Applied Sciences

Se adjunta en formato digital.

5.3 Anexo 3 Artículo publicado en Revista Tecnología y Ciencias del Agua

Se adjunta en formato digital.

5.4 Anexo 4 Artículo publicado en el libro de memorias de SEREA 2019, Portugal

Se adjunta en formato digital.

5.5 Anexo 5 Resumen de la ponencia presentada en las Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA), 2019

Se adjunta en formato digital.