



**El Colegio
de la Frontera
Norte**

La experiencia de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
(SADM) : Hacia un modelo de Agua 4.0

Tesis presentada por

Francisco Eduardo Hernández Díaz

Para obtener el grado de

MAESTRO EN GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

Monterrey, N.L., México

2022

CONSTANCIA DE APROBACION

Director de Tesis : Dr. Vicente Sánchez Munguía

Aprobada por el Jurado Examinador:

1.- Dr. José Luis Castro Ruiz, lector interno

2.- Dra. Hilda R. Guerrero Gacía Rojas, lectora externa

Dedicatoria

A Itandehui, por tu amor, cariño, fuerza e ímpetu. Gracias por el apoyo incondicional y por motivarme a ser mejor siempre.

A mi Madre y a mi Padre.

A mis hermanos.

En Memoria del Dr. Víctor Manuel Rodríguez, que sus enseñanzas perduren siempre.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me permitió dedicarme de tiempo completo al estudio de la maestría.

A la Dra. Beatriz de la Tejera que se tomó el tiempo para orientarme y ayudarme en este proceso final de la tesis.

A las doctoras y doctores integrantes del núcleo académico del Colegio de la Frontera Norte, de los que tuve la fortuna de aprender muchísimo. Gracias Dra. Blanca García, Dra. Judith Domínguez, Dra. Maru González, Dra. Blanca Vázquez, Dra. Ana Córdoba. De igual manera al Dr. Ismael Aguilar, Dr. Ricardo Santes, Dr. Jesús Rubio y al Dr. Alfonso Cortez.

Al personal administrativo y técnico del COLEF por siempre estar al pendiente de las necesidades de los alumnos.

A Karina, a Lariza, a Gerardo, a Luis y a Jaime, por la oportunidad de ser sus compañeros.

Especial agradecimiento al Dr. Vicente Sánchez, por embarcarse en este proyecto y confiar en mí para la realización de esta tesis.

A mis lectores externos, al Dr. José Luis Castro, y a la Dra. Hilda Guerrero por tomarse el tiempo de leer y encaminar bien esta tesis.

A la Ing. Clelia Hernández, al Maestro Ricardo Sandoval, al Maestro Hugo Rojas, al Ing. Eduardo Ortegón, a Rodrigo Valladares, a Nicolas Monterde y al Dr. Ricardo Ramírez por haber aceptado platicar y permitirme hacer las interrogantes correspondientes.

Especial agradecimiento al Dr. Camilo Contreras y a Sergio Castillo, por su amistad y por abrirme las puertas de su casa para la visita de campo en Monterrey y Saltillo.

Resumen

La necesidad de asegurar fuentes y volúmenes suficientes de agua, así como la reducción de fugas para disminuir su desperdicio, mantener una infraestructura en buenas condiciones operativas, además de generar información y tenerla disponible con un alto grado de confiabilidad para los agentes y tomadores de decisiones, para incidir en el compromiso por parte de los usuarios para el cuidado del agua, se vuelven apremiantes para el Organismo Operador de Agua de Monterrey y su Zona Metropolitana. Las tecnologías digitales de la industria 4.0, como el Big Data, el Internet de las Cosas, y la Inteligencia artificial entre otras, pueden ayudar a solventar las necesidades mencionadas. Esta tesis pretende identificar y describir las oportunidades que representa el modelo de agua 4.0 para el Organismo Operador de Agua, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey además de analizar y describir los beneficios que representa para la población de la zona metropolitana en un escenario complicado de seguridad hídrica. La metodología es mayormente cualitativa a partir del análisis de la información documental y las entrevistas realizadas a los actores del sector. Los principales hallazgos de la investigación sugieren que Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey avanza hacia un modelo de innovación que va de la mano del uso de tecnologías digitales, buscando siempre la eficiencia y eficacia de sus procesos, pero no ha podido ejercer una adecuada política de cultura del agua para incentivar un consumo racional del agua por parte de los usuarios.

Palabras clave

Agua 4.0, Digitalización del Agua, Industria 4.0, Monterrey, Agua Digital.

Abstract

The need to ensure sufficient sources and volumes of water, as well as the reduction of leaks to reduce waste, maintain an infrastructure in good operating conditions, in addition to generating information and having it available with a high degree of reliability for agents and decision makers , to influence the commitment on the part of the users for the care of the water, become pressing for the Water Operator Organism of Monterrey and its Metropolitan Zone. The digital technologies of industry 4.0, such as Big Data, the Internet of Things, and Artificial Intelligence, among others, can help solve the aforementioned needs. This thesis aims to identify and describe the opportunities that the water model 4.0 represents for the Water Operator, Servicios de Agua y Drenaje Monterrey, as well as analyze and describe the benefits it represents for the population of the metropolitan area in a complicated scenario of water security. The methodology is mostly qualitative based on the analysis of the documentary information and the interviews carried out with the actors of the sector. The main findings of the research suggest that Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey is advancing towards an innovation model that goes hand in hand with the use of digital technologies, always seeking the efficiency and effectiveness of its processes, but has not been able to exercise an adequate policy. of water culture to encourage rational consumption of water by users.

Keywords.

Water 4.0, Digitization of Water, Industry 4.0, Monterrey, Digital Water.

INDICE GENERAL.

INTRODUCCIÓN	1
I. DIRECTRICES DE INVESTIGACIÓN	5
1.1.- Antecedentes	5
1.2.- Problemática	8
1.3 Justificación, preguntas de investigación y objetivos	12
1.3.1 Justificación	12
1.3.2 Pregunta General	15
1.3.3 Preguntas Específicas	15
1.3.4 Objetivo General	15
1.3.5 Objetivos Específicos	16
1.4.- Hipótesis	16
1.5.- Metodología	16
II. MARCO TEORICO.	23
2.1.- El papel de las tecnologías digitales al servicio y cuidado del agua como bien público y vital.....	23
2.2.- El concepto de agua 4.0, agua digital o agua inteligente	25
2.3.- Los componentes del modelo de Agua 4.0 y su articulación.....	28
2.3.1 Tecnologías de la 4RI y su incursión en el sector agua.....	29
2.3.2 El papel de la información y la transparencia en la toma de decisiones y en el modelo de agua 4.0	37
2.3.3 El papel de los agentes (tomadores de decisiones y los usuarios) dentro del modelo de Agua 4.0	40
2.4.- El modelo de Agua 4.0 y una buena gobernanza del agua	41
2.5.- Cultura del agua	45
III. CONTEXTO DE EXPERIENCIAS DE DIGITALIZACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL DE DIFERENTES OOA	49
3.1.- Experiencias de digitalización del agua a nivel internacional	49
3.1.1 Singapur	49
3.1.2 Aguas de Valencia España	50

3.2 Experiencias de la digitalización de OOA a nivel nacional	52
3.2.1 Agua de Puebla para Todos	52
3.2.2. Servicios de Agua de la Ciudad de México	53
3.2.3 Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León	53
IV. ANALISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	56
4.1 Componentes de la tecnología digital o agua 4.0 en el SADM	56
4.2 Oportunidades y Limitaciones del SADM para avanzar hacia el modelo de Agua 4.0	60
4.2.1 Oportunidades del SADM hacia el modelo de agua 4.0	60
4.2.2 Limitaciones del SADM hacia el modelo de agua 4.0	61
4.3 Factores y Obstáculos que impiden la implementación del modelo Agua 4.0 en los Organismo Operadores de Agua a nivel nacional	63
4.3.1 Integración de sistemas e interoperabilidad	64
4.3.2 Impacto en los recursos humanos	65
4.3.3 Soluciones financieras sin impacto de valor	66
4.3.4 Ciberseguridad	69
4.3.5 Leyes y regulaciones	70
4.3.6 Tarifas	72
4.3.7 NOM-001-SEMARNAT-2021 y las plantas tratadoras	73
4.3.8 Brecha generacional y digital	74
4.4 Hacia el modelo Agua 4.0 en México	76
4.5 Diagnóstico de problemática coyuntural del agua en Monterrey	80
V. CONCLUSIONES	92
5.1 Recomendaciones.....	95
VI. BIBLIOGRAFÍA	97

Índice de Figuras

Figura 1.- Cadena de Valor Digital	24
Figura 2.- Tecnologías de la Industria 4.0	26
Figura 3.- Componentes del modelo Agua 4.0	29
Figura 4.- Principios de gobernanza del agua resumidos por enfoque	43
Figura 5.- Marco de gobernanza del agua multinivel	44
Figura 6.- Algunos beneficios de la aplicación del modelo Agua 4.0 en un OOA	46
Figura 7.- Programa de Sectorización “Agua para todos”	86
Figura 8.- Comportamiento del consumo de agua de la población de Monterrey y la ZMM.....	91
Figura 9.- Promedio de consumo semanal en Monterrey y ZMM.....	91

Índice de Mapas

Mapa 1.- Monitor de Sequia de México al 15 de marzo del 2022.....	83
Mapa 2.- Monitor de Sequia de México al 31 de marzo del 2022.....	83
Mapa 3.- Monitor de Sequia de México al 15 de abril del 2022.....	83
Mapa 4.- Monitor de Sequia de México al 30 de abril del 2022.....	83

Índice de Tablas

Tabla 1.- Aplicación de la AI para mejorar la Seguridad Hídrica de una región	13
Tabla 2.- Matriz de congruencia para la realización de la investigación.....	19
Tabla 3.- Funcionarios y actores entrevistados durante la investigación	20
Tabla 4.- Funcionarios y actores que no fue posible entrevistar	20
Tabla 5.- Obstáculos y oportunidades de la implementación digital en los OOA.....	21
Tabla 6.- Usos de las tecnologías de la 4RI en los OOA	36

Tabla 7.- Tipos de transparencia y sus elementos en un OOA	38
Tabla 8.- Participación de empresas españolas en el sector agua en México	55

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías para el manejo del agua tienen detrás de sí un recorrido histórico que abarca desde el primer alcantarillado en Sumeria en los años 3750 a.C. pasando por la primera presa en Egipto y la primera bomba de agua conocida como el ‘tornillo de Arquímedes’ descrita en el siglo III a.C. Los procesos como la potabilización, la desalación y hasta el uso de tuberías con grifos a mediados del siglo I. (Locken, 2017), son un reflejo que desde el inicio de los tiempos los seres humanos tienen la necesidad de domesticar el agua utilizando las tecnologías propias de su época, y que gracias a la infraestructura hídrica se volvieron sociedades más desarrolladas.

Actualmente, las herramientas y tecnologías digitales de la cuarta revolución industrial (4RI) proveen métodos revolucionarios de producción, organización y distribución que se basan en la automatización y transformación digital que “pueden borrar los límites entre los objetos físicos, convirtiéndolos en un amplio y complejo sistema de elementos interconectados e interdependientes” (Hasanbeigi, 2020:2). Revolución que supone una enorme transformación social por el cambio en el paradigma del modelo económico. (Toro, 2020). Estas herramientas incluyen el desarrollo de nuevos procesos, nuevas comunicaciones y nuevas conexiones, y con ello, una serie de retos y desafíos. (Stankovic et al., 2020 ; Tecnoaqua, 2019).

El concepto de transformación digital, en especial en el sector agua, incluye una amplia categoría y métodos que pueden ser usados para operar de manera más eficiente y sustentar la toma de decisiones basadas en los resultados de un modelo con la información disponible (Grievson, 2020). Un futuro más seguro y sostenible del agua significa pasar a la próxima generación de los sistemas de agua, que incluye la adopción de soluciones digitales y las condiciones favorables para que se pueda llevar a cabo su efectiva implementación, además, del valor externo que generan las tecnologías digitales que se ve traducido en el cumplimiento normativo, una mayor transparencia de la información y una mejor gobernanza.(Sarni et al., 2019).

Según De Stefano (2019), el obstáculo más importante para la adopción de tecnologías digitales en el sector agua es la paradoja del valor real del agua, donde el agua es un elemento

esencial de la vida, pero no se aprecia su valor en el mercado. También en Sarni et al (2019) se describen algunos de los obstáculos a los que se pueden enfrentar un Organismo Operador de Agua (OOA) en el proceso de adopción de tecnologías digitales, siendo estos la *integración de sistemas e interoperabilidad, el impacto en los recursos humanos, las soluciones financieras sin una propuesta clara de valor, y la ciberseguridad* que se requiere para dar certeza a todo el ecosistema digital. Estos junto a la *dificultad de establecer tarifas, la sobreregulación del sector, la entrada en vigor de la NOM-001-SEMARNAT-2021, la brecha generacional y digital y las tarifas eléctricas devenidas de la reforma eléctrica*, son solo algunos de los desafíos adicionales identificados en esta investigación, que retrasan o limitan la posibilidad de llevar a cabo esta adopción en los OOA de México.

La Inteligencia Artificial (IA) y el uso de algoritmos pueden ayudar a prevenir riesgos en la infraestructura, escenarios climatológicos adversos, así como optimizar el capital, los costos de operación y los servicios, así como el control de la energía y el predecir el comportamiento de activos. (Stankovic et al., 2020 ; Sarni, 2021). El Big Data, también caracterizado mediante las llamadas 4V, por Volumen (la calidad de los datos), Velocidad (frecuencia a la que se generan los datos), Veracidad (Integridad de los datos), y Variedad (formas y fuentes de los datos) (Micheal & Telukdarie, 2019), será una herramienta que pueda maximizar la eficiencia operacional del sector hídrico y la gestión de recursos (Daigger et al., 2019). El internet de las cosas (IdeC), permite la reducción del consumo energético, la detección y mitigación de fugas, el monitoreo de varios parámetros en el agua tanto potable como residual (Sarni et al., 2018). Así como herramientas de cloud computing, blockchain, realidad aumentada y los gemelos digitales, serán esenciales en el diseño y modelado de nuevos esquemas de trazabilidad y de escenarios futuros para los OOA.

En esta investigación se propone un modelo de Agua 4.0, que no solo se refiere al concepto de la incorporación de las tecnologías digitales de la 4RI en el subsector de servicios públicos de agua y saneamiento, implica además, el utilizar la información y datos generados por el OOA para que los agentes y tomadores de decisiones diseñen políticas públicas que favorezcan la conservación de las fuentes de agua, la participación activa de los usuarios en el cuidado del recurso agua, aumentar los niveles de eficiencia de los servicios públicos, así como la calidad del agua potable que se entrega a los usuarios, para disminuir en la población la incertidumbre

que genera la posibilidad de la escasez del recurso hídrico, articulado de todas las tendencias de innovación en el sector agua.

En México existen OOAs como es el caso del Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) Institución pública descentralizada del gobierno del Estado de Nuevo León que además de atender a la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), desde 1995 también presta sus servicios al resto del estado de Nuevo León. Se ha vuelto un referente nacional e internacional exitoso en materia de servicios de agua, cumpliendo con altos estándares que son una realidad reciente. Según Aguilar Barajas & Ramírez Orozco (2021) se ha logrado en relativamente poco tiempo, coberturas cercanas al 100 por ciento tanto en agua entubada como en alcantarillado, con un saneamiento del 100 por ciento de las aguas residuales, además, que desde el año 2000 la ciudad goza de agua las 24 horas, con calidad potable y una presión constante. El OOA de Monterrey ha definido conceptualmente su modelo organizacional y ha hecho enormes esfuerzos para llevar a cabo su implementación mediante un sistema de gestión y la adopción de tecnología. (Aguilar-Benitez & Castro Ruiz, 2017). Sin embargo, aunque estas consideraciones sustentan la elección de este OOA como estudio de caso para esta investigación, también permiten cuestionar ¿por qué el año 2022 pasará a la historia de los nuevoleonenses como el año donde la idea del ‘día cero’ se hizo presente?. Ya que después de más de 20 años de servicio constante en la mayor parte del territorio, se implementaron cortes programados y reducciones al servicio de agua en gran parte de la ZMM, además se instrumentó un programa de cultura del agua llamado ‘ahorra te toca a ti’ para ayudar a mitigar el efecto de la escasez de agua que afectaba a la región noreste. Coyuntura que se analiza y se describe de manera breve con afán de entender si la crisis del agua en la ZMM es un problema de escasez o de desigualdad hídrica, es un problema de eficiencia en el abasto o de un reparto desigual de concesiones, asimismo se buscó identificar la percepción de la sociedad afectada por la problemática del agua de la región.

Este trabajo de investigación tiene un enfoque fundamentalmente cualitativo y pretende identificar y describir las oportunidades que representa el modelo de agua 4.0 para el Organismo Operador de Agua SADM, además de los posibles beneficios para garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica en la población de la ZMM. Asimismo, busca identificar los obstáculos o factores que pueden limitar la implementación del modelo de agua

4.0 en otros OOA. Adicionalmente, analizar y definir cómo la disponibilidad y transparencia de la información apoya a los usuarios y a los agentes en la definición de políticas públicas. En el desarrollo del trabajo se describen las tecnologías de la 4RI que inciden directamente en toda la cadena del ciclo del agua en busca de una mejor operación del sector hídrico, y se pretende elevar la discusión del papel que juegan la tecnologías digitales en la gobernanza del agua, la transparencia y el gobierno abierto.

La metodología aplicada se basó en una búsqueda de artículos científicos, revistas digitales, videografías, y la elaboración, aplicación y análisis de entrevistas semiestructuradas a actores del sector hídrico nacional, académicos y dirigentes de asociaciones industriales, así como funcionarios del SADM. Del diálogo con los actores se identificaron las oportunidades y obstáculos que pueden limitar el proceso de adopción tecnológica, además de obtener la información respecto al OOA del caso de estudio.

Esta tesis se ha dividido en cinco capítulos. Primeramente, un capítulo introductorio que incluye las directrices de la investigación, las preguntas de investigación y los objetivos para dar respuesta a las mismas, así como la metodología y el enunciado de la hipótesis de trabajo. El segundo capítulo consta del marco teórico: El papel de las tecnologías digitales al servicio y cuidado del agua como bien público vital; el concepto de agua 4.0, agua digital o agua inteligente; los componentes del modelo de agua 4.0; el modelo de Agua 4.0 y una buena gobernanza del agua, y la cultura del agua, que abonan para dar respuesta a las preguntas de investigación. El tercer capítulo presenta el contexto de experiencias de digitalización a nivel internacional y nacional de diferentes Organismos Operadores de Agua. En el capítulo cuarto se muestran los resultados de la investigación, incluyendo un apartado titulado “Hacia el modelo de Agua 4.0 en México” como parte del resultado de la investigación. Finalmente, en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

I.- DIRECTRICES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

“Si el mundo continúa en su camino actual, las proyecciones sugieren que el mundo puede enfrentar un déficit del 40 % en la disponibilidad de agua para 2030”¹

La gestión del agua se encuentra en primera línea frente a los retos actuales y futuros que enfrenta el mundo, entre ellos la disponibilidad, el cambio climático, el crecimiento poblacional, la seguridad hídrica, y la calidad del agua. Las tecnologías digitales ofrecen un gran potencial para lograr la transformación de los servicios de agua, optimizando operaciones, mejorando el rendimiento y reduciendo la incertidumbre, de tal manera que se vuelven resilientes, innovadores y eficientes, ayudándolos a construir una base más sólida y económicamente viable para el futuro. (Sarni et al., 2019 ; Aguado et al., 2021)

Según datos del INEGI (2019), existen 2,826 OOA's en México, de estos, 2,613 que representa el 92 % pertenecen a la categoría jurídica de servicios del sector público, mientras el 8 % restante, es decir 166 pertenecen a asociaciones civiles y al sector privado. Los OOA's públicos aparte de la transición política municipal de cada tres años, se enfrentan a serios desafíos, como son las sequías e inundaciones, las altas tarifas de consumo energético, la dificultad de recaudación, la recolección y el tratamiento de las aguas residuales, además del crecimiento poblacional en las zonas metropolitanas, y recientemente la pandemia de COVID-19, los cuales “ponen a prueba, el funcionamiento de la infraestructura y las capacidades institucionales, tanto financieras, políticas y jurídicas para mantener en operación estos servicios imprescindibles” (Camacho González & Casados Prior, 2017:22).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número seis de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) propone asegurar la disponibilidad y gestión del agua y saneamiento para todos. Los países de América Latina han reconocido la importancia de hacer frente a los desafíos planteados por el ODS 6, atendiendo dos obstáculos: cerrar la brecha institucional adoptando políticas, marcos regulatorios, programas, estrategias financieras, y capacidades

¹ Mensaje del Secretario General de la ONU Ban Ki-moon el 21 de septiembre del 2016, <https://www.un.org/press/en/2016/sgsm18114.doc.htm>

sectoriales, y de cerrar la brecha informativa, con la adaptación de tecnologías e instrumentos de recolección de acuerdo a los indicadores de los ODS. Debido a que las tecnologías y las soluciones de financiamiento tradicionales han demostrado ser insuficientes para hacer frente a los desafíos antes mencionados, “ha surgido la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras para resolver las cuestiones de escasez y calidad del agua a nivel global” (Stankovic et al., 2020:8).

El cuatro de marzo del 2018, América Latina y el Caribe adoptaron en Escazú Costa Rica, el “Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales”, cuyo objetivo es:

“Garantizar el derecho de todas las personas a tener acceso a la información de manera oportuna y adecuada, a participar de manera significativa en las decisiones que afectan sus vidas y su entorno y a acceder a la justicia cuando estos derechos hayan sido vulnerados” (CEPAL, 2018:8)

El Acuerdo de Escazú, ratificado el 22 de enero de 2021 por México, fortalece las obligaciones del estado mexicano para la generación de políticas y estrategias que garanticen el derecho de la población de acceder a la información en torno al agua. Recordar que en este país los tratados internacionales ratificados por el Senado son considerados parte del bloque de constitucionalidad, por lo que se vuelven obligatorios y casi con el mismo peso de la Constitución Política. (Rojas Rueda, 2021). Asimismo, el gobierno abierto es una nueva filosofía que implica una gestión pública más transparente y participativa entre el Estado y la sociedad, y esta sustentado en tres pilares: 1) transmitir la información a la sociedad. 2) promover la participación, y 3) construir colaboración entre la sociedad y el Gobierno. Para que los ciudadanos participen de una manera mas activa es necesario hacer más accesible la “información básica sobre la calidad del agua y los parámetros usados para su medición, el estado de las redes de distribución, y en general sobre los sistemas de acueducto”(Salgado López, 2021:2).

Hablar de ‘agua digital’ en Monterrey nos remonta a los primeros acercamientos que se realizaban desde el Centro de Agua para América Latina y el Caribe, organización que conjuntaba esfuerzos del Instituto Tecnológico de Monterrey (ITESM), Fundación FEMSA y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). En una entrevista realizada por Torres (2018) a

Paola Gordon Luna, coordinadora de la Red de Agua para América Latina del ITESM, se refiere al concepto ‘agua digital’ como “los indicadores que pueden utilizar los organismos operadores para medir las líneas de distribución, pero también indicadores como la calidad, basándonos en lo establecido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)”, y hace referencia a la estrecha relación que tiene la industria 4.0 con la *digitalización del agua*², ya que implica realizar mediciones con sensores electrónicos que permitan identificar metales y otros compuestos que pudieran localizarse en el agua, y de qué forma impactan en las actividades del ser humano, como su consumo y la producción agrícola. Ante el panorama que enfrenta el agua en América Latina, con el ‘agua digital’ se busca un “manejo más eficiente y climáticamente inteligente de los recursos hídricos, además de gestionar el riesgo, adelantarse al futuro o detectar indicios de problemas a tiempo”. (Gordon en Torres, 2018).

El Objetivo de la iniciativa Nuevo León 4.0 es posicionar al estado de Nuevo León como el líder de la industria inteligente en el continente, desarrollando un ecosistema innovador que tiene su fundamento en la triple hélice (Gobierno, Industria y Academia). Y entre sus pilares estratégicos se encuentran invitar a la acción proactivamente, el desarrollar talento especializado, habilitar capacidades tecnológicas, administrar conocimiento y la gestión de recursos eficazmente.³

Ramos Valdés & Carrasco Sánchez, (2019:175) analizan los potenciales efectos que las tecnologías asociadas a la industria 4.0 pueden tener en el nivel y en las formas de empleo en Nuevo León, señalan que para el 2030 se “espera con una probabilidad mayor al 50 % que se creen nuevos empleos y que se adapten los empleos existentes”. Por lo que sugieren una política activa de empleo y reconversión profesional para los nuevos empleos y la adaptación de los puestos existentes, la cual les permita capacitarse en el nuevo ambiente laboral y a las empresas encontrar trabajadores con las habilidades adecuadas para el nuevo contexto (ídem). Contrario a lo que parecería inminente, que ante la dominación tecnológica muchos puestos de

² Se entenderá como digitalización del agua, el utilizar las nuevas tecnologías digitales para optimizar la gestión del recurso. Véase. <https://www.retema.es/articulo/la-digitalizacion-de-la-gestion-del-agua-no-es-una-opcion-4mL2C>

³ https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/presentacion_nl40_31_mayo_-_rev_02_2_0.pdf consultado el 30 de abril del 2022

trabajo se verían comprometidos, las nuevas tecnologías pueden ser también una nueva alternativa para desarrollar nuevas habilidades y capacitarse en nuevas áreas.

Aunque se identifica un ecosistema industrial innovador en Nuevo León, una breve revisión documental y búsquedas en internet, no permite identificar una participación directa de empresas, o de actores de la industria 4.0 de la región aplicadas en el sector agua.

Si bien es cierto que la región Noreste de México, y en particular el estado Nuevo León es propenso a los embates climatológicos como ciclones y huracanes en las temporadas de lluvia, en el periodo de sequía tiende a estar siempre en el límite de la escasez de agua. Aguilar Barajas & Ramírez Orozco (2021) han sugerido que, la gestión del agua en la región se enmarque en una perspectiva de gestión de riesgo, y dedicar más atención a las situaciones de incertidumbre y vulnerabilidad. Se vuelve pertinente considerar, que los nuevos acuerdos internacionales y la filosofía de un gobierno abierto, afectarán la forma en que las instituciones públicas, en este caso los OOA, atienden dichas regulaciones y cómo estos deberían estar orientando los esfuerzos a fomentar la participación ciudadana, y a poner al alcance de los agentes interesados la información o datos que propicien una mejor toma de decisiones, además de mantener los altos niveles de eficiencia operativa. Esto de la mano de la implementación de herramientas digitales de la 4RI, puede llegar ser trascendental en la forma que se atienda y se alcancen mejores niveles de seguridad hídrica en la región.

1.2 Problemática

El estado de Nuevo León tiene una población de 5,784,442⁴ habitantes, de los cuales el 91.3 % reside en los 13 municipios que forman la zona metropolitana de Monterrey (ZMM) (CONAPO, 2015). La importancia económica e industrial de la ZMM obliga a disponer de un instrumento de planeación hídrica en el estado, aunado a los desafíos que representa su ubicación geográfica. El Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), es la Institución

⁴ Información tomada del sitio del INEGI con información al 2020, <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=19#tabMCcollapse-Indicadores> consultado en marzo del 2022.

Pública Descentralizada (IPD) creada en 1956, cuyo objetivo es prestar el servicio público municipal de agua y drenaje a los habitantes de la ciudad de Monterrey. En 1995 amplió la cobertura a todos los habitantes del estado de Nuevo León, prestando los servicios de agua potable y no potable, drenaje y saneamiento de las aguas residuales.

En octubre del 2018, el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey (FAMM)⁵ y el Consejo Nuevo León ⁶ publicaron el Plan Hídrico Nuevo León 2050 (PHNL). Resultado de estudios realizados entre el 2016 y 2017, por universidades, centros de investigación y empresas de consultoría, con la finalidad de obtener una opinión sobre la situación del abasto de agua potable en la ZMM, y servir como guía en el corto y largo plazo para ayudar al Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) y al Gobierno del Estado de Nuevo León a la toma de decisiones robustas y alcanzar la ‘Seguridad Hídrica’⁷ en Nuevo León. Opinión que vislumbra y genera incertidumbre ya que según el PHNL las capacidades actuales del sistema de agua de SADM son insuficientes para cubrir las necesidades de agua de la ZMM en el mediano y largo plazo. “Además el sistema es significativamente vulnerable a cambios hidrológicos adversos en las fuentes de suministro actuales” (Crespo-Elizondo & Ramírez, 2018:83). Sin embargo, aunque el documento cuenta con todos los elementos para ser un documento oficial de planeación, aún necesita de que la autoridad estatal y la CONAGUA lo constituyan legalmente como un instrumento de planeación hídrica para el estado de Nuevo León

Para Aguilar Barajas & Ramírez Orozco (2021) la calidad de los servicios de agua que ahora recibe la población de Nuevo León y su ZMM han requerido de varias décadas de trabajo, acompañadas de un liderazgo, visión y trabajo de innovación permanente por parte de SADM, con la participación de diversas instancias y actores, entre ellos el gobierno federal y la iniciativa privada, siempre teniendo en mente el largo plazo. Sin embargo, a principios del mes de febrero del año 2022, el Gobierno del Estado de Nuevo León emitió la declaratoria de emergencia por sequía en la entidad, suspendiendo todas las actividades que implican el uso

⁵ Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey, Esfuerzo conjunto entre los sectores público, privado, académico y la sociedad civil para proteger las fuentes de agua. (FAMM, 2020)<http://famm.mx/conoce-al-famm/>

⁶ Consejo Nuevo León, Órgano transexenal, apartidista, consultivo y propositivo del Estado en materia de planeación estratégica y su evaluación.(CONL, 2020)<https://www.conl.mx/>

⁷ La seguridad hídrica se define como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad y aceptable para sostenimiento de los medios de vida.

excesivo de agua. Esto debido a que México atraviesa por una de las temporadas de estiaje más severas de los últimos diez años ocasionando bajos niveles de llenado en las presas, y en el caso de Nuevo León, la presa de Cierro Prieto, para el mes de marzo ya se encontraba a 8.3 % de su capacidad, y la presa de La Boca, estaba al 16.7 %. (Badillo,2022). Hay que recordar que, más de la mitad del suministro de agua para la región proviene de aguas superficiales. Desde enero del mismo año el Gobierno del Estado de Nuevo León a través del SADM, lanzó la alerta ante el Gobierno Federal, solicitando mediante vía legal el acceso a la explotación de pozos emergentes. Desafortunadamente, la solución no fue suficiente para cubrir la alta demanda de litros por segundo de la entidad, situación que llevó a tomar medidas más extremas, empezando con cortes de agua técnicamente llamados “reducción al máximo servicio” por zonas, un día a la semana.⁸

Condición que se prevé empeore a medida que las fuertes lluvias no lleguen a la región para que las presas retomen niveles aceptables para la extracción de agua.

Además, durante el transcurso de esta investigación algunos exfuncionarios del Organismo Operador de la anterior administración se vieron involucrados en acusaciones de corrupción, situación que terminó en el despido de varios directivos, y acusaciones legales⁹. Las acusaciones contra el exdirector del OOA y la supuesta desaparición de 930 millones de m³¹⁰ al año de agua se vuelven factores que perjudican directamente a la sociedad y al desarrollo de la región, y develan las debilidades del SADM. Factores coyunturales que develan una problemática alrededor del agua que se considera, atiende en primera instancia a una falta de prevención, planeación y coordinación en los tres niveles de Gobierno, en segunda instancia de ser ciertas las acusaciones, a una gestión carente de ética y con prácticas corruptas dentro del OOA, aunado a un factor cultural del alto consumo de agua per cápita en algunas zonas de Monterrey. Hay que recordar que, en esta región, están ubicadas grandes industrias

⁸ <https://www.milenio.com/sociedad/sequia-en-nuevo-leon-2022-esto-sabemos-de-la-crisis-del-agua>, consultado el 20 de marzo del 2022.

⁹ <https://www.hoytamaulipas.net/notas/471661/Indaga-Samuel-Garcia-corrupcion-en-Agua-y-Drenaje-de-Monterrey-lo-amenazan.html> consultado el 20 de marzo del 2022
Consultado en octubre del 2021

¹⁰ <http://periodismonewsmtty.com/index.php/2021/09/02/la-barbarie-hidrica-de-la-sadm-se-le-da-hasta-reconocimientos/> consultado en octubre del 2021

refresqueras, cerveceras y automotrices con altos volúmenes de agua concesionados, las cuales se presume no han reducido su volumen de extracción.

Si se tiene en consideración que la tecnología no debe verse como un fin en sí misma, sino como un medio poderoso para lograr soluciones, se vuelve necesario hacer cambios en la organización, en los procesos y en las políticas públicas, además del desarrollo de habilidades tanto individuales e institucionales para atender los cambios que implica el nuevo ambiente digital (Sandoval-Almazán et al., 2017). La recolección y utilización de grandes cantidades de datos pueden generar nuevas vulnerabilidades y riesgos, que puede llevar a la discriminación contra personas, e incrementar la “brecha digital”,¹¹ por lo que habrá que tener cuidado en que los análisis y otras innovaciones lleguen a todos los sectores de la población y de la economía (Stankovic et al., 2020). Dicho lo anterior, el aspecto más crítico de una transformación digital efectiva del agua tendrá que ver con las personas, además de que requiere cambios en la dinámica organizativa y en la forma que se llevan adelante las tareas. (Kane et al., 2019).

Por lo anteriormente descrito, se identifica una necesidad urgente de asegurar fuentes y volúmenes suficientes de agua, lograr la reducción de fugas para disminuir el desperdicio, el mantener una infraestructura en buenas condiciones operativas, además de generar y poner a disposición los datos e información con un alto grado de confiabilidad para los agentes y tomadores de decisiones, junto a lograr una trazabilidad y responsabilidad de la toma de decisiones, además de incidir en el compromiso para el cuidado del agua por parte de los usuarios, se vuelven acciones apremiantes para el SADM. Ya que cómo se puede inferir por la situación actual que vive Monterrey y su ZMM, por más eficiencia y tecnología disponible en el OOA, sin fuentes de abastecimiento, es decir, sin agua, de nada habrían servido los logros y acciones llevadas a cabo por parte del SADM. Por lo que se considera que las nuevas tecnologías digitales que desde la industria 4.0 se promueven, pueden incidir en la prevención de escenarios futuros y el resolver los desafíos antes mencionados.

¹¹ Tello Leal, (2007) recupera varias definiciones de “brecha digital” , primeramente toma la definición de la CEPAL, en donde la brecha digital es la línea divisoria entre el grupo de población que ya tiene la posibilidad de beneficiarse de las TIC y el grupo que aún es incapaz de hacerlo, también se puede describir como la línea divisoria entre la población de ricos y pobres en información, donde los ricos son capaces de cosechar los beneficios sociales y económicos del acceso a la infraestructura mundial de la información y las comunicaciones.

Para el contexto nacional, la cantidad de OOA municipales que existen en México y el alto nivel de ineficiencia de algunos, implica otros retos que limitan o retrasan el ciclo de la transformación digital, retos que se describen de mejor manera en el capítulo cuatro de este trabajo de investigación.

1.3 Justificación, preguntas de investigación y objetivos

1.3.1 Justificación

Alcanzar y mantener un buen nivel seguridad hídrica en la ZMM se vuelve imperativo ya que las consecuencias económicas, sociales, ambientales, y políticas pueden desencadenar un riesgo para México, dado que Monterrey representa una importante contribución a la economía nacional. La ZMM se ha convertido en punto de atracción migratoria y de captación de recursos, lo que a su vez va acompañado de un alto crecimiento poblacional. Se estima que el consumo de agua por habitante en Monterrey es de 230 litros diarios¹², cifra 100 % mayor que la recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 100 litros de agua por día¹³.

Las tecnologías digitales son parte de nuestra cotidianidad, comprar alimentos, medicinas y solicitar un transporte desde una aplicación en el teléfono celular, se ha vuelto más normal. Ahora toca el turno de transformar al sector hídrico y hacer que la tecnología trabaje para que los servicios de agua sean de mayor calidad y lograr que donde el servicio sea nulo o deficiente se corrija o se suministre con los estándares establecidos. Se considera que la gran mayoría de OOA buscará en las tecnologías digitales, y más en particular las de la 4RI una solución al vasto abanico de problemas a los que se enfrentan, y solo es cuestión de tiempo que esta transformación se lleve a cabo.

Como se puede apreciar en la siguiente tabla, las tecnologías digitales de la 4RI y en particular la IA pueden coadyuvar a alcanzar un mejor nivel de seguridad hídrica. Además, se puede

¹² <https://tec.mx/es/noticias/nacional/investigacion/expertos-llaman-hacer-un-uso-mas-eficiente-del-agua-en-monterrey>. consultado el 24 de marzo del 2022

¹³ <https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes>. consultado el 24 de marzo del 2022

considerar un mejor entendimiento del sector hídrico, gracias a la posibilidad de analizar y realizar simulaciones con la información disponible, implica también, que esta información se vuelva accesible a los agentes tomadores de decisiones y usuarios en general, fomentando su participación y así lograr también una mejor gobernanza del agua. Para el caso particular de Monterrey y su ZMM, la posibilidad de adoptar las tecnologías de la 4RI o de mejorar las actuales, puede incidir en resolver los problemas de agua no contabilizada, así como ayudar al aseguramiento de fuentes de agua, pero sobre todo de incentivar a la población a ser partícipe y coadyuvar en un mejor consumo del agua.

Planificación de Sequías	Control de captación	Suministro de Agua	Eficiencia Hídrica	Saneamiento Adecuado
Predicción de Sequías	Detección y monitoreo de floraciones de algas perjudiciales	Monitoreo y gestión del suministro de agua	Monitoreo y gestión del uso de agua residencial	Drones e IA para el monitoreo en tiempo real de la calidad de los ríos
Simulaciones para la planificación de sequías	Previsión de flujos de corriente	Simulación de la calidad de agua y alerta de datos	Optimización del uso de agua industrial	Medidas para asegurar el adecuado saneamiento de las reservas de agua
Evaluaciones de los impactos de las sequías	Infraestructura automatizada	Filtración de agua autoadaptable	Mantenimiento predictivo de las plantas de agua	Monitoreo y gestión en tiempo real del suministro de agua residencial
		Mantenimiento de los activos en gastos críticos en agua y agua de lavado	Sistemas de alerta temprana para infraestructura hídrica	
			Detección de pérdidas subterráneas en sistemas de suministro de agua	
			Medidores inteligentes en los hogares	

Tabla No. 1. – Aplicación de la IA para mejorar la Seguridad Hídrica en una región .

Fuente: Adaptado de (Stankovic et al., 2020)

Considerando que los cambios de gobierno, tanto municipales y estatales, derivan en el cambio de directivos en los OOA, el tiempo que se requiere para implementar cualquier

proyecto, conseguir el financiamiento, sin mencionar la posible resistencia al cambio de parte de la planta de trabajadores, representa un escenario que no se resuelve de la noche a la mañana, Por lo que se considera, que para estar en posibilidad de obtener resultados dentro de los próximos 3 o 4 años el tiempo de actuación debería ser ahora.

En el año 2002, SADM inició un ambicioso proyecto de modernización administrativa o lo que se denomina también infraestructura suave, basado en la incorporación de nuevas tecnologías de información, componente muy importante en los logros del SADM en sus esfuerzos orientados a mejorar la administración de la presentación de servicios de agua. A partir del año 2006 se diseñó e instrumentó el Programa de Innovación y Modernización (PIM), programa que establece dos grandes logros, el Sistema de Planeación y Evaluación (SPE) orientado a sistematizar el acopio y procesamiento de la información y, por otro lado, la homologación de los criterios de calidad de todo el organismo mediante la implantación gradual de un Sistema Institucional de Calidad (SIC) bajo la Norma Internacional ISO 9001. En 2018 el organismo recibió la certificación Aquarating, mecanismo que evalúa el desempeño a través de la medición de indicadores de gestión y la aplicación de las mejores prácticas en los diferentes procesos. En 2020, el SADM obtuvo su segunda certificación de Aquarating, siendo el único en México y el segundo en el mundo en lograrlo.(Aguilar Barajas & Ramírez Orozco, 2021).

Para Tapia (2022) quien es parte de la ‘Netherland Water Partenship’ aparte de la digitalización, son tendencias innovadoras en el sector de agua y saneamiento, los métodos innovadores para predicción, pronósticos y planificación, la circularidad, la inclusión de las partes interesadas y las soluciones basadas en la naturaleza (NbS), innovaciones que al igual que la digitalización deberán de tener su propio análisis, pero que sin duda deben de articularse para lograr el aseguramiento de fuentes de agua, y una mejor operación de los OOA's para mejorar la eficiencia y calidad de los servicios públicos.

Así que, considerando las necesidades a las que se enfrenta SADM, develadas de una manera un tanto abrupta durante la coyuntura del problema de agua que vive actualmente la región, la posibilidad de emplear las tecnologías de la 4RI para mejorar la seguridad hídrica, además de abonar a su eficiencia y a su vez poder generar, transparentar y transmitir datos e información

que fomenten la participación ciudadana para el buen uso del recurso hídrico, y el diseño de nuevas políticas públicas, teniendo en cuenta que ni el financiamiento ni la tecnología ha sido suficiente para resolver la problemática, son consideraciones suficientes para proponer un modelo denominado Agua 4.0, además de poder plantear las siguientes preguntas de investigación de esta tesis.

1.3.2 Pregunta General:

- ¿En qué medida en el Organismo Operador Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) se ha incorporado el modelo Agua 4.0 para beneficio de la población de la Zona Metropolitana de Monterrey, y así garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica?

1.3.3 Preguntas específicas:

Para intentar dar respuesta a la pregunta general, se han planteado tres preguntas específicas.

- ¿Cómo se han implementado las tecnologías digitales de la 4RI en los procesos de generación de información y toma de decisiones en el OOA-SADM?
- ¿Cómo incide en la elaboración de mejores políticas públicas y de programas de cultura del agua, una mayor transparencia y disponibilidad de la información?
- ¿De qué manera benefician las tecnologías digitales de la 4RI, a alcanzar una mejor gobernanza del agua?

Para intentar dar respuesta a las preguntas de investigación se han propuesto los siguientes objetivos.

1.3.4 Objetivo General:

- Identificar y describir las oportunidades que representa incorporar el modelo de Agua 4.0 en el SADM y los posibles beneficios para garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica a su población.

1.3.5 Objetivos específicos:

- 1.- Identificar los obstáculos o factores que pueden limitar la implementación del modelo de Agua 4.0 en los OOAs.
- 2.- Describir las tecnologías de la 4RI que se han implementado en el SADM y cómo han incidido en los procesos de generación de información y toma de decisiones.
- 3.- Analizar cómo la disponibilidad y transparencia de la información posibilita a los funcionarios públicos responsables del sector la definición de políticas públicas y la elaboración de un mejor programa de consumo de agua racional.
- 4.- Elevar la discusión sobre el papel que juegan las tecnologías digitales en la gobernanza del agua, la transparencia y el gobierno abierto.

1.4 Hipótesis

De incorporarse el modelo de agua 4.0, potenciaría las capacidades humanas, técnicas, tecnológicas, y financieras que el Organismo Operador de Agua SADM ha desarrollado en los últimos años, si se implementan cambios significativos en la forma de compartir y hacer visible los datos y la información generada desde el OOA, con todos los usuarios y agentes vinculados a la problemática del agua en la ZMM, para incidir de manera profunda en acciones y políticas públicas que coadyuven al desarrollo de una mejor cultura del agua en la sociedad, y a garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica a mediano y largo plazo.

1.5 Metodología

En el diseño y la práctica de la investigación de sistemas socio-ecológicos (SSE), los investigadores identifican problemas, trabajan en áreas más específicas aprovechando las diferentes teorías y marcos conceptuales, usando y generando diferentes tipos de datos. Cualquier proyecto incluye la identificación de un problema o una brecha de información en el tema de estudio. La identificación del problema puede suceder de *manera tradicional*, es decir el investigador recupera de la literatura o una investigación previa, e identifica la brecha que quiere atender. Por otro lado, también puede ser presentado por una necesidad social, después de haber interactuado con los creadores de políticas, profesionales y otras partes interesadas. En este último caso, la identificación del problema puede ser parte de un proceso de coproducción. Otra forma de identificar un problema es observando las noticias, eventos o procesos sociales, utilizando técnicas sistemáticas y formales. Cómo el problema es identificado, estará fuertemente relacionado con el propósito y la motivación del investigador, de la misma manera los métodos, el marco conceptual y las teorías, por lo que la manera en que el problema o pregunta de investigación se relaciona con la teoría, el método, o su marco conceptual no está definido, y no hay reglas ni protocolo para seleccionarlos (Vos et al., 2021).

Para el diseño de esta investigación la identificación del problema estuvo fuertemente relacionado con entender y ubicar el momento de la transición tecnológica que se estaría dando en el sector agua ante la adopción de nuevas tecnologías digitales, además de identificar y describir las oportunidades que representa el modelo de Agua 4.0 para el SADM para beneficio de la población de Monterrey y su ZMM y así garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica, teniendo en consideración los altos índices de desempeño del SADM, siendo que la ciudad Monterrey se ha vuelto epicentro de innovaciones tecnológicas, sin embargo, también durante el desarrollo de esta investigación, se dio un cambio de gobierno a nivel estado, y por consiguiente un cambio en la administración del OOA bajo estudio, lo cual hizo visible una problemática del agua, diferente respecto al primer momento del planteamiento del problema de investigación.

El enfoque de la estrategia metodológica es principalmente cualitativo, y se consideró el análisis de la información bibliográfica y videográfica de los conceptos de Agua digital, Agua 4.0, así como información documental del SADM. Se utilizaron herramientas metodológicas de recolección de datos, como las entrevistas semiestructuradas a: Funcionarios del SADM y de la Asociación Nacional de Entidades de Agua y Saneamiento (ANEAS), especialistas del sector hídrico y actores y académicos que participan en la industria de Monterrey, más en particular la 4.0.

Las etapas de la metodología de investigación implementadas fueron:

1.- Definición y re-elaboración del título, antecedentes y definición de objetivos.

La contingencia sanitaria a raíz de la pandemia del COVID-19 limitó de manera significativa la oportunidad de poder realizar una estancia en el SADM como se había previsto inicialmente. Además del factor político electoral del estado, ya que en el año 2021 hubo cambio del Gobierno Estatal de Nuevo León, y por consiguiente cambios en las direcciones y puestos de alto nivel en SADM. A lo largo del proceso de elaboración de la tesis, ha cambiado el título propuesto originalmente, “Agua 4.0 ¿Una propuesta para avanzar hacia la seguridad hídrica de Monterrey y su zona metropolitana? Posibilidades y Limitaciones”, pasando por “Agua 4.0, la oportunidad de su implementación en los organismos operadores de agua y saneamiento en México”, hasta llegar al nombre actual, *La experiencia de “Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM): Hacia el modelo de Agua 4.0.* lo que implicó en varias ocasiones replantear la pregunta de investigación, así como los objetivos tanto general y específicos.

La disponibilidad de información acerca del papel de las tecnologías digitales en el sector agua fue una limitante dentro de la investigación, fue justo hasta el último año del curso de la maestría que se volvió un tema más recurrente en las publicaciones, conferencias y pláticas de varios actores del sector hídrico, lo que representó un cierre de la investigación con nuevos cuestionamientos que de primera instancia no estaban presentes. Tanto antecedentes, como la

justificación del problema se basaron en una revisión bibliográfica y videográfica que permitió confrontar ideas y conceptos, y que permitió la elaboración de una hipótesis de trabajo que sirvió de guía para el desarrollo de esta investigación.

La tabla (2) enuncia las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis en forma de una matriz de congruencia y así encaminar de mejor manera los esfuerzos para la realización de esta investigación.

Pregunta de Investigación	Objetivos	Hipótesis
¿En qué medida en el Organismo Operador de Agua, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey se ha incorporado el modelo AGUA 4.0 para beneficio de la población de la Zona Metropolitana de Monterrey, y así garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica?	Identificar y describir las oportunidades que representa incorporar el modelo de Agua 4.0 en el SADM y los posibles beneficios para garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica a su población.	De incorporarse el modelo de agua 4.0, potenciaría las capacidades humanas, técnicas, tecnológicas, y financieras que el Organismo Operador de Agua SADM ha desarrollado en los últimos años, si se implementan cambios significativos en la forma de compartir y hacer visible los datos y la información generada desde el OOA, con todos los usuarios y agentes vinculados a la problemática del agua en la ZMM, para incidir de manera profunda en acciones y políticas públicas que coadyuven al desarrollo de una mejor cultura del agua en la sociedad, y a garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica a mediano y largo plazo.
	Objetivos Específicos	
	Identificar los obstáculos o factores que pueden limitar la implementación del modelo Agua 4.0 en los OOA	
Preguntas Específicas	Objetivos Específicos	Hipótesis Específica
¿Cómo se han implementado las tecnologías digitales de la 4RI en los procesos de generación de información y toma de decisiones en el OOA-SADM?	Describir qué tecnologías de la 4RI se han implementado y cómo ayudan a los procesos de toma de decisiones.	Los sistemas SCADA y la implementación de imágenes satelitales para detectar fugas, así como elementos de big data, permiten determinar acciones prioritarias para el OOA.

¿Cómo incide en la elaboración de mejores políticas públicas y de programas de cultura del agua, una mayor transparencia y disponibilidad de la información?	Analizar y definir cómo la disponibilidad y transparencia de la información posibilita a los usuarios y agentes en la definición de políticas públicas y la elaboración de un mejor programa de cultura del agua.	Los OOA son públicos, por ende, es el deber ser, generar y poner a disposición la información para cualquier persona interesada, sea usuario o agente. Dicha información posibilita que los tomadores de decisiones y generadores de políticas públicas actúen de manera informada y certera.
¿De qué manera benefician las tecnologías digitales de la 4RI a alcanzar una mejor gobernanza del agua?	Elevar la discusión del papel que juegan las tecnologías digitales en la gobernanza del agua, la transparencia y el gobierno abierto.	Las tecnologías digitales inciden directamente de manera positiva sobre la eficiencia, eficacia y la confianza y la participación, elementos fundamentales de una buena gobernanza del agua.

Tabla No. 2. – Matriz de congruencia para realizar la investigación. Elaboración Propia

2.- Selección de actores y entrevistas

Se realizaron entrevistas semiestructuradas a especialistas nacionales del sector agua: funcionarios del SADM, representantes de asociaciones industriales, académicos, consultores y a representantes de empresas privadas con un alto grado de participación en el mercado tecnológico del agua, para lograr identificar insumos y opiniones que abonaran a la investigación. En la tabla (3) se muestra una relación de las entrevistas realizadas a los funcionarios y representantes que aceptaron participar.

Nombre	Institución	Puesto	Fecha Entrevista
Dr. Eduardo Ortegon Williamson	SADM	Director de Tecnologías	16-feb-22
Mtro. Hugo Rojas	ANEAS	Director	13-dic-21
Ricardo Sandoval Minero	Sextante Consultores	Ex consultor del BID	25-nov-21
Rodrigo Valladares	ISLE UTILITIES	Consultor Tecnológico	22-feb-22
Nicolás Monterde	IDRICA	Country Manager Idrica México	16-feb-22

Dr. Ricardo Ramírez	ITESM CAMPUS MTY	Decano de Investigación de la Escuela de Ingeniería y Ciencias	03-feb-22
Clelia Hernández	NL 4.0	Directora General	28-ene-22

Tabla No. 3 – Funcionarios y actores entrevistados durante la investigación.

Nombre	Institución	Razón por la cual no se realizó entrevista
Florentino Ayala Vázquez	SADM	Dejó de laborar en el SADM
Ricardo Munguia Alfaro	SADM	Atendió el primer correo, después por cuestiones de agenda se complico
Dr. Ismael Aguilar Barajas	ITESM	Atendió el primer correo, despues no contesto
Dr. Aldo I. Ramirez	ITESM	No contesto correo

Tabla No. 4 – Funcionarios y actores que no fue posible entrevistar

En la tabla (4) se muestra una relación de los funcionarios y académicos que se habían identificado como parte del grupo de especialistas, y que desafortunadamente no fue posible entrevistar, para el caso de los doctores del ITESM nos remitimos a la información aportada por sus publicaciones. (Aguilar Barajas & Ramírez Orozco, 2021) y (Ramírez & Lugo, 2019)

3.- *Análisis de las entrevistas.*

Todas las entrevistas realizadas se grabaron y se transcribieron, y sobre estas transcripciones se llevó a cabo el análisis de la información, identificando las oportunidades y los obstáculos que los actores y funcionarios revelaban a lo largo de la conversación. Junto con la bibliografía el resultado se traduce en la siguiente tabla (5) y es en base a esta información que se desarrollaron los resultados con los comentarios de los actores entrevistados.

Obstáculos identificados durante la digitalización de los OOA (Sarni,2019)

Integración de sistemas e interoperabilidad
Impacto en los recursos humanos
Soluciones Financieras
Ciberseguridad
Obstáculos Identificados en los OOA, entrevistas
Leyes y Regulaciones
Tarifas eléctricas y de servicio
NOM-001-SEMARNAT-2021
Brechas generacional y tecnológica
Oportunidades identificadas para los OOA, entrevistas
Predicción de escenarios climáticos
Reducción en tarifas eléctricas
Reducción de fugas y agua no cobrada
Calidad del Agua
Incentivar la Cultura del Agua
Nuevas formas de compartir la información

Tabla No. 5 – Obstáculos y oportunidades de la implementación digital en los OOA
Fuente: Elaboración Propia.

4.- *Propuesta de Modelo Agua 4.0*

Para la propuesta del modelo Agua 4.0, se consideró operacionalizar el concepto de agua 4.0 y las posibles implicaciones y beneficios que conlleva su implementación. Al ser un modelo conceptual, queda abierta la posibilidad para en un futuro utilizar los indicadores de transparencia para los OOA que se están desarrollando en el IMTA, además del posible diseño de nuevos indicadores tecnológicos que permitan evaluar e identificar el nivel de adopción tecnológica de los OOA y el nivel de interacción que tienen con la sociedad. Sirva también este modelo para incentivar a que los OOA busquen la eficiencia y la eficacia para beneficio de sus usuarios. Además de diseñar e implementar mejores políticas públicas que incidan en una mejor cultura del agua para el mantenimiento y conservación del preciado líquido.

II.- MARCO TEÓRICO

2.1 El papel de las tecnologías digitales al servicio y cuidado del agua como bien público y vital.

“Las tecnologías digitales están transformando las relaciones de la humanidad con el agua, pero para acelerar la adopción de soluciones digitales debemos desafiar el status quo y poner al alcance de los trabajadores las estrategias, cultura y herramientas que necesitan para alcanzar el éxito.”
Will Sarni

Desde la invención de la primera bomba de agua, conocida también como el tornillo de Arquímedes, las tecnologías han permitido al ser humano manipular el recurso máspreciado para su existencia (Wall, 2013). Y es que el desarrollo de la humanidad ha estado relacionado con la capacidad de inventar y usar tecnologías que bien pueden extraer, acumular, distribuir, depurar y purificar el agua. En la actualidad las tecnologías se han vuelto una herramienta fundamental para mejorar los niveles de eficiencia y de calidad del servicio en el sector de agua potable y saneamiento, además, se han concentrado en mejorar los procesos de tratamientos de aguas residuales, de desalinización, y el aprovechamiento del agua para la generación de energía.

Los sistemas de gestión y abastecimiento de agua potable, tienen varios momentos de quiebre históricos que responden a una reinvencción derivados de varios momentos de crisis, en particular sanitarias (Sedlak, 2014). Con la industrialización de Europa y Estados Unidos, la propagación de enfermedades como el cólera y la tifoidea por la contaminación de las fuentes locales, obligaron a importar agua de fuentes muy lejanas que no estuviera contaminada. A lo que le siguió la problemática del drenaje, y la gestión de inundaciones que comprometía la calidad de las fuentes. La solución fue la construcción de sistemas centrales que hasta principios del siglo pasado todavía funcionaban en algunas ciudades de Europa (Daigger et al., 2019).

Las tecnologías digitales en el sector agua tienen grandes ventajas sobre las analógicas, solamente pensar en la posibilidad que nos brinda monitorear la cantidad y calidad del agua que se consume en las ciudades; la detección de filtraciones en la infraestructura; o una aplicación para teléfonos inteligentes que facilita el contacto directo con los consumidores. No solo benefician a los OOA, sino que también dan paso a otras tecnologías innovadoras de agua y su tratamiento. La visualización de la cadena de valor digital del agua (Fig 1), es una forma de comprender mejor el rol de las tecnologías digitales, aportando información en tiempo real para un mejor desempeño de los trabajadores del sector, los clientes y los consumidores. (Sarni, 2021)



Fig 1 . Cadena de Valor Digital, Fuente (Sarni, 2021)

No podemos hablar de las tecnologías digitales sin hacer referencia a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). En el sector de Agua y Saneamiento, se han vuelto un medio para un fin, estas se han usado para aumentar el flujo de información y datos, amplificar la voz de los ciudadanos y responder a una necesidad real de información, mejorando las relaciones mediante una mayor rendición de cuentas (Greggio, 2017).

La escasez de agua se ha vuelto recurrente a medida que los fenómenos climáticos arremeten contra algunas regiones del planeta, por lo que se vuelve necesaria la implementación de sistemas que gestionen de mejor manera los recursos y en particular el agua dulce (Daigger et al., 2019). Se considera que las tecnologías digitales avanzadas pueden transformar los modelos de provisión y mantenimiento de los servicios de agua y saneamiento, haciéndolos eficientes, logrando un ahorro de agua desperdiciada, mejorando los sistemas de tratamiento de agua, generando valor en todo el proceso del ciclo del agua, y sin duda también implicará una amplia gama de nuevas oportunidades económicas para el sector y la industria del agua (Sarni, 2021).

Estamos presenciando la transformación dentro del sector de agua y más en particular en el subsector de agua potable y saneamiento, dejando atrás el paradigma de la gestión del agua,

‘así se ha hecho por años, o así nos ha funcionado’, lo que implica sin duda una resistencia al cambio y una nueva mentalidad ante los inminentes cambios en la forma de gestionar los OOA. El poder solucionar problemas viejos con tecnología nueva debería ser uno de los mayores incentivos, “para entender es necesario medir, y para controlar es necesario medir en tiempo real” (Ídem:29)

Las tecnologías digitales tienen el potencial de democratizar el acceso a los datos del agua, la información procesable y, a su vez, al agua potable segura. Además de que permitirán a las empresas de agua cambiar su enfoque de las economías paradigmáticas de escala a las de economías de eficiencia. El introducir nuevos incentivos, sistemas de pago e iniciativas de participación puede ayudar a la creación de una nueva generación de consumidores de agua comprometidos. (Daigger et al., 2019) La capacidad para facilitar la adopción de otras tecnologías innovadoras que brindan las tecnologías digitales, puede hacer que se logre cumplir con el ODS 6 propuesto por la ONU.

2.2 El concepto de agua 4.0, agua digital o agua inteligente.

La máquina de vapor y el uso de la energía hidráulica marcaron el desarrollo del mundo moderno y el inicio de la primera revolución industrial, la cual, comenzó en el siglo XVIII y terminó a finales del siglo XIX con la llegada del gas y la electricidad a la industria. Durante la segunda revolución industrial se sentaron las bases tecnológicas del siglo XX, cuando las innovaciones tecnológicas modernizaron los procesos industriales y las empresas y los mercados sufrieron cambios organizativos. La tercera revolución industrial llegó cuando se comenzó a utilizar la electrónica y las computadoras para la automatización de la producción aproximadamente en el año de 1970, también conocida como revolución digital, la cual todavía convive con la actual cuarta revolución industrial.

La industria 4.0, también conocida como cuarta revolución industrial, surge en Alemania en el año 2011 en respuesta a la política económica impulsada desde el gobierno, basada en estrategias de alta tecnología, que se caracterizó por la automatización, la digitalización de procesos y el uso de tecnologías electrónicas y de la información, para llevar a cabo los

procesos de manufactura, así como la personalización de la producción, la prestación de servicios y la creación de negocios de valor agregado, y se caracteriza por las capacidades de interacción y el intercambio de información entre humanos y máquinas (Ynzunza Cortés et al., 2017).

Para Contreras Reyes & Duran de la Cruz, (2019:12) , “la Revolución 4.0 se caracteriza por la convivencia de una gran variedad de tecnologías, que borran los límites entre lo físico, lo digital y lo biológico, generando una fusión entre estos tres planos”. En otras palabras, la conexión de sistemas que incluyen a las máquinas, las herramientas y naturaleza, y no solo equipos informáticos. La monitorización y digitalización de procesos, la inteligencia artificial, la realidad aumentada, el Big data, la ciberseguridad, el cloud computing y el internet industrial de las cosas (IIdC) véase (Fig.2) , “son solo algunos de los nuevos indicadores digitales que permiten mejorar la gestión y el control de las instalaciones” (Tecnoagua, 2019:3) y los servicios del agua no deben ni pueden quedar fuera.

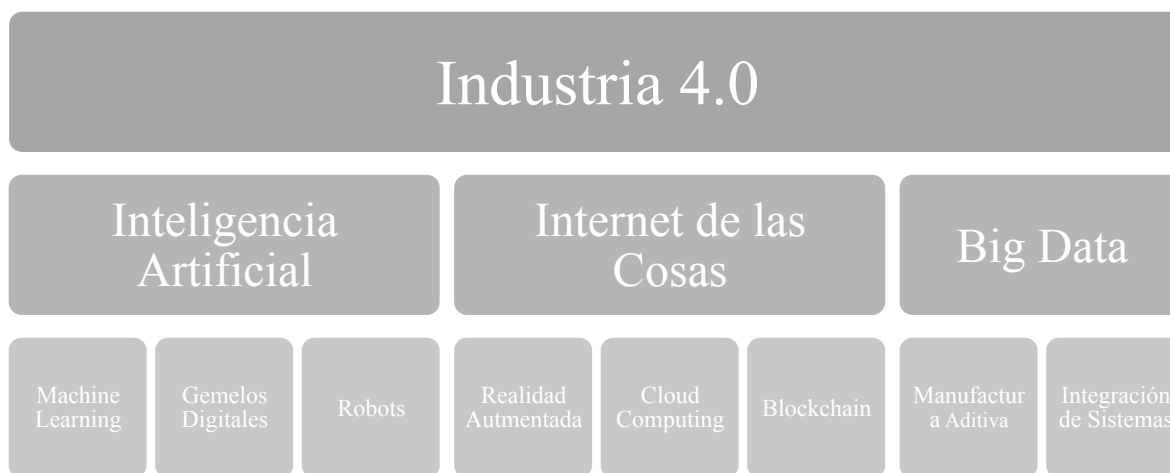


Fig 2 . Tecnologías de la Industria 4.0, Elaboración Propia con información de SAP¹⁴. Para Sedlak (2014) la gestión del agua urbana y el ciclo repetido de crecimiento, fracaso y reinención está muy vinculado a una serie de revoluciones y momentos de crisis humanas. La primera revolución del agua, (Agua 1.0), fue el desarrollo del sistema de abastecimiento de

¹⁴ <https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-industry-4-0.html> Consultado el 2 de Mayo del 2022.

agua potable, es decir la primera generación de infraestructura hidráulica urbana. La segunda revolución (Agua 2.0) fue el desarrollo de la instalación de tratamiento de agua potable utilizando tecnologías como la filtración y la cloración para hacer frente a la crisis de salud pública de finales del siglo XIX y principios del XX. La tercera revolución (Agua 3.0) fue la invención e implementación de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La actual revolución que vive el abastecimiento de agua (Agua 4.0) estará relacionado con utilizar procesos de desalinización, y el reciclaje de agua, y el uso de agua de lluvia como fuentes de abastecimiento alternativos, acompañados de políticas para incentivar el cuidado y conservación del agua. Por lo tanto, se considera que la definición de Agua 4.0 para este trabajo, tiene que ver más con las tecnologías digitales de la 4RI, recuperando el acompañamiento de las políticas para incentivar el cuidado y la conservación del agua. Además, las fuentes de abastecimiento alternativas por el autor, ya son una realidad en el mundo y en nuestro país.

Para De Stefano (2019), el agua digital realmente trata de sentar las bases para que los OOAs apliquen el análisis de datos y las técnicas de inteligencia artificial en los problemas comerciales. Además, menciona que la barrera más importante para la adopción de tecnologías en el agua es la paradoja del valor real del agua, donde el agua, aunque es un elemento esencial para la vida, y su valor no es apreciado en el mercado.

Ingildsen & Olsson (2016), describen a la empresa de agua ‘inteligente’, como la que garantiza un proceso de toma de decisiones inteligente y sistemático en todos los niveles, basado en sensores en línea de calidad y cantidad de agua en, teniendo en cuenta el ciclo completo del agua, desde los afluentes hasta la llave de agua, garantizando una adecuada cantidad y calidad del agua, con un mínimo consumo de energía y recursos materiales.

‘Agua Digital’, ‘Agua inteligente’, ‘Agua 4.0’, inclusive ‘internet del Agua’ o ‘digitalización del agua’, son los términos utilizados para describir la transformación digital que se está llevando a cabo en el sector agua, esto gracias a que las tecnologías digitales ofrecen un potencial ilimitado para transformar los OOAs, haciendo que estos se vuelvan más resilientes, eficientes e innovadores. Por lo que explotar el valor de la información, la automatización y la inteligencia artificial permitirá conservar las fuentes de agua, reducir la cantidad de agua no

facturada y aumentar el ciclo de vida de la infraestructura, mientras se mantiene o aumenta la calidad de agua que se entrega a los usuario (Sarni et al., 2019). Las tecnologías digitales están disponibles y las innovaciones no se detienen, los grandes desafíos y oportunidades dependen ahora del personal del sector (Sarni, 2021).

Para fines de esta investigación, la definición conceptual del modelo Agua 4.0 es: la incursión de tecnologías digitales emergentes y disruptivas propias de la 4RI, que aprovechan el poder de la recopilación de datos en tiempo real, haciendo más accesible el volumen de datos relevantes para la gestión pública y social del agua, extrayendo valor agregado y conocimiento, el cual ayudará a los OOA a desarrollar políticas públicas que incentiven el cuidado del agua, así como estrategias que contribuyan a maximizar la eficiencia operativa y la utilización de activos, minimizar las pérdidas de agua en el sistema de distribución, mientras se mantiene la calidad del servicio de agua potable y saneamiento.

2.3 Los componentes del modelo de Agua 4.0 y su articulación.

Partiendo de la definición, la operacionalización del modelo en el subsector de agua potable y saneamiento no solo hace referencia al concepto de adopción de las tecnologías de la 4RI, sino que además implica, utilizar la información generada por el OOA para que los agentes y tomadores de decisiones diseñen políticas públicas que favorezcan la conservación de las fuentes de agua, la participación activa de los usuarios en el cuidado del recurso agua, aumentar los niveles de eficiencia de los servicios públicos y la calidad del agua que se entrega a los usuarios, así como disminuir en la población la incertidumbre que genera la posibilidad de la escasez del recurso hídrico e incidir en un cambio proactivo para el cuidado del agua. Se identifican y se describen a continuación los tres componentes principales del modelo Agua 4.0, siendo estos las tecnologías de la 4RI, la información y su transparencia, además de los agentes que, en este caso son los tomadores de decisiones y los usuarios (Fig. 3).

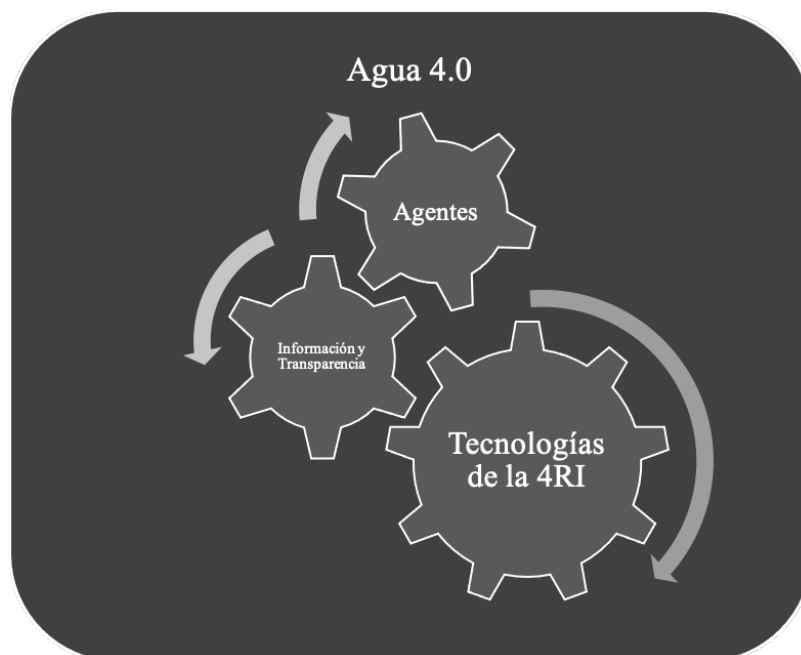


Fig. 3. Componentes del modelo Agua 4.0, Elaboración Propia.

2.3.1 Tecnologías de la 4RI y su incursión en el sector agua

Las tecnologías digitales que abanderan la cuarta revolución industrial se describen brevemente a continuación y se identifica de qué manera han empezado a transformar el sector de agua y saneamiento.

- *Big Data*

Para la empresa Oracle¹⁵, ahora más que nunca las organizaciones pueden acceder a más datos y el big data lo define “como un conjunto de datos variado, más grande y complejo, características que se conocen como las ‘tres Vs’ variedad, volumen y velocidad, que generalmente se obtienen de nuevas fuentes de datos”. Son datos tan voluminosos que el procesamiento tradicional simplemente no puede administrarlos. El sector agua generará una enorme cantidad de datos e información que al ser procesada puede ser considerada de gran

¹⁵ <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/> Consultado el 2 de mayo del 2022

utilidad en la toma de decisiones tanto futuras como en tiempo real, por lo que (Stanley & Gunn, 2018) cómo los menciona (Micheal & Telukdarie, 2019) consideran una característica adicional que es la veracidad. Resultando en las ‘4 Vs’ del Big Data, Volumen (la calidad de los datos), Velocidad (frecuencia a la que se generan los datos), Veracidad (Integridad de los datos) y Variedad (formas y fuentes de los datos). Junto con la tecnología del Internet de las Cosas, la información de las fuentes de agua, subterránea o superficial, dentro de la cuenca, puede ser recabada y compartida en una escala local, regional y hasta mundial.

- *Integración de Sistemas*

La Integración de sistemas se puede dar de forma horizontal y vertical: son la columna vertebral de la Industria 4.0. Con la integración horizontal, la integración de los diversos sistemas de tecnología e información están estrechamente integrados a ‘nivel de campo’ en múltiples instalaciones de producción y en toda la cadena de suministro que implican un intercambio de materiales, energía e información. Con la integración vertical, todas las capas de una organización están vinculadas y los datos fluyen libremente en los diferentes niveles jerárquicos, y cuya finalidad es entregar una solución de extremo a extremo. Integrar toda la cadena de valor permite que la empresa prescindiera de intermediarios costosos, agilizando las transacciones comerciales¹⁶

- *Cloud Computing*

Cloud computing, o la computación en la nube, “es la entrega de servicios informáticos, incluidos servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis e inteligencia, a través de Internet ‘la nube’ para ofrecer una innovación más rápida, recursos flexibles y

¹⁶ <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/636028/19.pdf> Consultado el 9 de mayo del 2022

economías de escala”.¹⁷ Por lo general solo se paga por los servicios que se usan, reduciendo los costos operativos y la ejecución más eficiente de la infraestructura.

Algunos beneficios de cloud computing, son el costo, ya que se elimina el alto costo de inversión en hardware y software, además del costo energético que significa un centro de datos, la velocidad con la que se pueden contratar servicios, dada la gran variedad de plataformas y herramientas disponibles para cada proyecto, el incremento en la productividad del personal de tecnologías, que puede centrarse en proyectos más importantes para la empresa que el mantener un centro de datos, la confiabilidad y seguridad de saber que la información está respaldada y protegida por controles de seguridad, que en caso de algún imprevisto o pérdida de información la continuidad de la empresa no depende de ello, y el desempeño ya que muchos centros de datos se actualizan constantemente implementando las últimas tecnologías computacionales disponibles en el mercado.

Existen tres tipos de nubes, la pública, administrada y operada por terceros, la privada, que solo es utilizada por una sola organización, y la híbrida, una combinación de la pública y la privada. Los servicios que ofrecen estas nubes se pueden clasificar en cuatro categorías, ‘Infraestructure as a service’ (IaaS) donde se renta la infraestructura tecnológica necesaria, servidores y máquinas virtuales, almacenamiento etc.. , ‘platform as a service’ (PaaS) proporcionar un ambiente para pruebas de desarrollo de aplicaciones web o móviles, ‘serverless’ el proveedor se encarga de la configuración, mantenimiento y el manejo del servidor de aplicaciones y ‘software as a service’ (SaaS) es el método para acceder aplicaciones de software bajo demanda o en base a un sistema de suscripción.

- *Simulación o gemelos digitales.*

Un gemelo digital es “un modelo virtual diseñado para reflejar con precisión un objeto físico. El objeto de estudio, está equipado con varios sensores relacionados con áreas vitales de

¹⁷ <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/> Consultado el 5 de mayo del 2022

funcionalidad. Estos sensores producen datos sobre diferentes aspectos del rendimiento del objeto físico, ej. Producción de energía, temperatura, condiciones climáticas y más. Datos que al ser aplicados al modelo virtual permiten la ejecución de simulaciones, el estudio de problemas y rendimiento, con el objetivo de generar información valiosa, que pueda aplicarse de nuevo al objeto físico original”.¹⁸

Para generar un gemelo digital se necesita información del sistema físico, de preferencia en tiempo real. Uno de los componentes fundamentales del gemelo digital es el modelo hidráulico del sistema, siendo clave su configuración y calibración. No será sencillo su desarrollo, ya que debe ser capaz de reproducir fielmente la realidad que representa, y para que sea de ayuda debe ser capaz de reproducir con precisión cualquier escenario de operación del sistema: tanto pasado, futuro próximo y tiempo real. (Conejos & Hervás, 2020)

- *Internet de las cosas (IdeC), ó (IoT)*

El internet de las cosas se puede describir como una red de objetos físicos ‘cosas’¹⁹ que tienen incorporados sensores, software y otras tecnologías que permite la conexión y el intercambio de datos con otros dispositivos y sistemas utilizando redes locales o el internet. Mediante la informática de bajo costo, la nube, big data, analítica y tecnologías móviles, las cosas físicas tienen el potencial de recopilar y compartir datos con una mínima participación del ser humano.

El Internet industrial de las cosas (IIdeC) se refiere a la aplicación de la tecnología IdeC en entornos industriales, especialmente con respecto a la instrumentación y control de sensores y dispositivos que utilizan tecnologías en la nube. La industria ha empezado a utilizar la comunicación máquina a máquina (M2M)²⁰ para hacer posible la automatización y el control inalámbrico. La mayoría de las cosas físicas de la Industria 4.0, dispositivos, robots,

¹⁸ <https://www.ibm.com/mx-es/topics/what-is-a-digital-twin> Consultado el 4 de mayo del 2022

¹⁹ <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/> Consultado el 1 de mayo del 2022

²⁰ <https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-industry-4-0.html> Consultado el 30 de abril del 2022

maquinaria, equipos y productos utilizan sensores y etiquetas RFID para proporcionar datos en tiempo real sobre su estado, rendimiento o ubicación.

- *Robots autónomos*

Una nueva generación de robots autónomos está emergiendo²¹. Programados para realizar tareas con mínima intervención humana, los robots autónomos varían mucho en tamaño y función, desde drones de escaneo de inventario hasta robots móviles autónomos para operaciones de recoger y ubicar. Equipados con software de vanguardia, IA, sensores y visión de máquina, estos robots son capaces de realizar tareas difíciles y delicadas y pueden reconocer, analizar y actuar sobre la información que reciben de sus alrededores.

- *Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML)*

La Inteligencia Artificial, ya es considerada como una especialidad de la ciencia que esta orientada a la creación de máquinas inteligentes, con capacidad de adaptación, aprendizaje y autonomía. Sin embargo, los problemas que resuelven actualmente involucran el manejo de grandes volúmenes de datos para obtener información útil, que permita generar algoritmos de forma automática, y con ello, “la solución de problemas complejos, asociados al razonamiento, la percepción, la planeación, el aprendizaje y la habilidad de manipular objetos”(Sossa Azuela, 2020:23).

Hewlett Packard define el machine learning como “una subcategoría de la inteligencia artificial, que se refiere a los procesos mediante el cual las computadoras desarrollan un reconocimiento de los patrones, o a la capacidad de estas a aprender de manera continua y hacer predicciones basadas en datos, luego de hacer ajustes sin estar específicamente

²¹ idem

programados para hacerlo”.²² Las 4V’s de la información generada por sistemas socio ecológicos, sería imposible de procesar sin la velocidad y sofisticación del machine learning. Además puede ser empleada para generar experiencias personalizadas en los consumidores. En el sector agua, puede ayudar al descubrimiento de relaciones entre algunas variables, de tal manera que permitan el modelar sistemas complejos, y la generación de modelos predictivos y apoyando la toma de decisiones.²³

- *Blockchain*

IBM define la tecnología blockchain, como “un libro mayor compartido e inmutable que simplifica el proceso del registro de transacciones y de seguimiento de activos en una red de negocios”²⁴. Es decir, que todos los usuarios de la red cuentan con acceso al libro mayor y al registro inmutable de las transacciones, transacciones que se registran solo una vez, por lo que se elimina la duplicidad de esfuerzo, asimismo ningún usuario puede cambiar o falsificar una transacción una vez que fue grabada en el libro mayor compartido. Así como la tecnología blockchain se utiliza para aumentar la transparencia en cadenas de suministro, al igual que las transacciones digitales de criptomonedas, será posible emplearse para generar un registro permanente y colectivo de la calidad y cantidad de agua y las transacciones involucrando a la mayoría de las partes interesadas. (Daigger et al., 2019)

- *Realidad Aumentada*

La realidad aumentada (RA)²⁵ es el término utilizado para describir todas las tecnologías con capacidad de incorporar elementos virtuales de manera gráfica dentro del mundo real, lo que permite una interactividad única con el entorno, en tiempo real. Su capacidad de unir lo físico

²² <https://www.hpe.com/mx/es/what-is/machine-learning.html> Consultado el 5 de mayo del 2022

²³ <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-botin/tecnicas-machine-learning-gestion-agua-seminario-online-conocer-potencial> Consultado el 4 mayo del 2022

²⁴ <https://www.ibm.com/mx-es/topics/what-is-blockchain> Consultado el 5 de mayo del 2022

²⁵ <https://www.edsrobotics.com/blog/realidad-aumentada-que-es/> Consultado el 11 de mayo del 2022

con lo virtual se vuelve uno de los mayores atributos de esta tecnología, además de su adaptabilidad a cualquier espacio, aprovechando todas las dimensiones para incrementar la percepción del usuario, generando datos de interés. Vale la pena mencionar que no es lo mismo la realidad aumentada que la realidad virtual (RV). La diferencia principal entre ambas tecnologías es que la RV busca la inmersión del usuario en un mundo ajeno totalmente al entorno físico, mientras que la RA incorpora o añade elementos gráficos. De esta manera la RA busca enriquecer su percepción del mundo real con datos extras de manera gráfica.

- *Ciberseguridad*

Según McKinsey & Company (2018:21), “La ciberseguridad es el conjunto de acciones tomadas por organizaciones e individuos para mitigar los riesgos que enfrentan en el ciberespacio, con el propósito de disminuir la probabilidad de sufrir un ciberataque”. Asimismo, se puede definir la ‘ciber resiliencia’ como la capacidad que tiene el sector público, privado y de la sociedad para hacer frente a los ciberataques sin que se afecte su habilidad de operar día a día. Es también “la capacidad de grupos e individuos para mantenerse seguros de forma sostenida en el largo plazo, considera la facultad de una entidad para minimizar el impacto de ataques, y su habilidad para restablecer la operación de forma rápida” (Ibid:22).

Cómo se describe en capítulos posteriores, la ciberseguridad se vuelve un desafío importante a resolver por parte del sector agua, y valdría la pena considerar que el día que el agua sea declarado tema de seguridad nacional y todo este interconectado, seguramente los ciberataques estarán a la orden del día.

- *Manufactura aditiva*

Concepto utilizado en la producción industrial a través del cual el material, que puede ser metal o plástico, es depositado capa a capa de manera controlada allí donde se requiere.

Técnica que se conoce como impresión 3D²⁶, y que puede producir formas geométricas personalizadas en función de las necesidades de cada sector. En contraste con las técnicas de fabricación tradicionales, la manufactura aditiva reduce procesos intermedios, permitiendo la obtención de piezas a mayor velocidad, por lo que hay generación de residuos, y los componentes tienen un costo más bajo, haciendo la producción más amable con el medio ambiente.

La siguiente tabla (6) recupera algunos de los usos identificados que las tecnologías de la 4RI tienen dentro del sector agua y más en particular dentro de un OOA, además se identifica la importancia que se tendrá la Red 5G para mejorar la conectividad entre todas las tecnologías y los sensores, las velocidades de descarga permitidas, son al menos 10 veces mayores que la de la red 4G, y la cantidad de dispositivos que pueden estar simultáneamente conectados se multiplica por 100 (Brichetti et al., 2021). Y especial consideración también al uso de las imágenes satelitales, que junto a las herramientas de la inteligencia artificial, y el big data, se vuelve una fuente de información muy importante para la predicción y la detección de fugas, entre otras.

Tecnología de la 4RI	Ejemplo de la Implementación en los OOA
IdeC	Lectura de medidores inteligentes Monitoreo y Control de la calidad y cantidad de agua durante todo su ciclo Monitoreo y control de activos
Big Data	Capacidad de extraer patrones, e información valiosa adicional de la gran cantidad de datos provenientes de los sensores del IdeC Maximizar la gestión de recursos
Cloudcomputing	Procesamiento y almacenamiento de los datos Infraestructura, software y aplicaciones como servicio
IA y Machine Learning	Detección de Fugas Predicción de cambios en la demanda Mantenimiento Predictivo Reducción de costos asociados al consumo energético Mejorar la Seguridad Hídrica (Tabla 1) Medidores inteligentes
Blockchain	Responsabilidad y trazabilidad de la toma de decisiones Transparentar la cadena de suministro Información transparente para varios agentes
Gemelos Digitales	Análisis y monitoreo de información antes de aplicar en sistemas reales Desarrollo de escenarios futuros por medio de la simulación

²⁶ <https://edimar.com/fabricacion-aditiva-que-es/> consultado el 11 de mayo del 2022

Realidad Aumentada	Práctica y diseño de Mantenimientos a Infraestructura Capacitación en Instalaciones de infraestructura Campañas de concientización
Robots	Automatización de soluciones que aumenten el desempeño humano.
Imagen Satelital	Detección de fugas Monitoreo y generación de información de la cuenca
Red 5G	Mejor velocidad de conexión y mayor cobertura

Tabla 6 – Usos de las tecnologías de la 4RI en los OOAs

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 *El papel de la información y la transparencia en la toma de decisiones y en el modelo Agua 4.0*

El acceso a la información pública, la rendición de cuentas y la transparencia son fundamentales para la prestación de los servicios públicos, y eso incluye a los prestadores de servicios de agua y saneamiento. En México, el artículo 6° de la Constitución letra A²⁷, establece:

“los principios y bases para el ejercicio del derecho de acceso a la información, en posesión de cualquier autoridad, entidad, órgano y organismo de los Poderes Ejecutivo, Legislativo y Judicial, órganos autónomos, partidos políticos, fideicomisos y fondos públicos, así como cualquier persona física, moral o sindicato que reciba y ejerza recursos públicos o realice actos de autoridad en el ámbito federal, estatal y municipal...”

Cómo ya se había mencionado, el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales de Escazú, fortalece la obligación del estado mexicano para generar estrategias y políticas que garanticen el derecho del público de acceder a la información en torno al agua.

Para Salgado López (2021), el gobierno abierto es una nueva filosofía de gobierno, donde la gestión pública es más transparente y participativa entre la sociedad y el Estado. Y está sustentado en tres pilares, 1) transmitir información a la sociedad, 2) promover la participación, y 3) construir colaboración entre la sociedad y el Gobierno. Pese a los esfuerzos de algunos gobiernos, aún se presentan deficiencias en materia de transparencia, participación ciudadana y colaboración, y el sector agua no es la excepción.

²⁷ <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/6.pdf> consultado en mayo del 2022

Por lo tanto, por normativa y adoptando una filosofía de gobierno abierto, los OOAs públicos, están obligados a transparentar su información. Vale la pena reconocer el esfuerzo que se está llevando a cabo desde el Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua (IMTA), donde se investiga la pertinencia y utilidad de generar un índice de transparencia para los OOAs en México (Buenfil Rodríguez et al., 2021), con la intención de la construcción de sociedades más democráticas. Destacar, que este índice identifica dos tipos de transparencia, la obligatoria y la proactiva, agrupando elementos de información como se presenta en la siguiente tabla (7).

Tipo de transparencia	Componente	Elemento
Transparencia Obligatoria	Normativo	Marco normativo y estructura orgánica
	Organizativo	Facultades, metas y objetivos de las áreas y directorio
	Administrativo y Presupuestal	Remuneración servidores públicos
		Licitaciones y adjudicaciones directas
		Presupuesto asignado Informes de auditorías
		Avances programáticos y presupuestales
Transparencia Obligatoria	Evaluaciones y recomendaciones externas	Ingresos recibidos y destino
		Recomendaciones de órganos públicos del Estado mexicano u organismos internacionales garantes de los derechos humanos
	Participación	Mecanismos de participación ciudadana
		Convenios de coordinación con sector privado y social
	Monitoreo de transparencia	Actas y resoluciones del Comité de Transparencia
		Actas de sesiones de consejos consultivos
Transparencia Proactiva	Operación y resultados	Evaluaciones y encuestas a programas financiados con recursos públicos
		Servicios que se ofrecen y requisitos para acceder a ellos
	Tarifas	Trámites, requisitos y formatos
		Estudios
		Indicadores
		Informes especializados
Transparencia Proactiva	Calidad y tratamiento del agua	Programas que ofrecen
		Variables que integran la tarifa
	Cobertura de agua	Metodología de cálculo por tipo de usuario
		Análisis de la calidad de agua extraída y posterior a su potabilización
	Cobertura de alcantarillado	Colonias con agua potable continua y tandeada
Transparencia Proactiva	Cobertura de saneamiento	Presiones en redes públicas
		Colonias con recolección de aguas residuales por redes públicas y servicios privados de recolección
Transparencia Proactiva	Cobertura de saneamiento	Infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales

Tabla No. 7 – Tipos de Transparencia y sus elementos en un OOA

Fuente: (Buenfil Rodríguez et al., 2021)

Este índice de transparencia “puede ser una medida estándar para calificar y comparar el cumplimiento en la publicidad de la información que hacen a la sociedad o en respuesta a solicitudes concretas” (Ídem:13), además de construir una base de información que incentive a la ciudadanía a conocer los problemas locales y la información generada en torno a la gestión

de los servicios de agua y saneamiento para exigir una mejor rendición de cuentas y mejores resultados (idem).

Una pregunta que se podría plantear dentro de este apartado es ¿qué podemos hacer como usuarios con la información que nos proporciona un organismo público? y más en particular de un organismo operador de agua, ¿qué información esperaríamos recibir? Si se tiene una base de datos actualizada con los mapas de las redes de distribución y recolección, la calidad del agua que obtienen y de la que se entrega, la cantidad de agua residual que es tratada y la que se devuelve a la naturaleza, y de ser posible, saber cuál es el costo de producción del agua y cuánto cuesta producir un metro cúbico de agua cuando se obtiene de una fuente subterránea y de una fuente superficial. Para Rojas (2022), esta información puede llevar a la sociedad a revalorar el agua.

También, saber ¿cuánto se invierte en potabilizar el agua?, conocer el precio de los análisis de laboratorio, el costo del bombeo, las inversiones para el sistema de medición de los consumos, el costo del tratamiento de aguas para cumplir las normas vigentes. Permitiría explotar el valor de la información, la cual se vuelve entonces uno de los principales factores para incidir en revalorar el agua, haciendo visible el costo de tener agua en casa, contra el precio que se paga en el recibo del agua. Muchas veces no se refleja lo costoso que es producir un m³ de agua respecto a lo que se paga del recibo.

Es posible considerar que ante la implementación del modelo de Agua 4.0 se hará visible una brecha digital, que también está relacionada con la vulnerabilidad y riesgos de recolectar y utilizar un conjunto de datos masivos, lo que puede llevar a una discriminación contra personas, el falseamiento de evidencias y la creación de dependencias de infraestructuras centralizadas (Stankovic et al., 2020). Adicionalmente, un reto importante que se tiene que atender, es el manejo de la cantidad de información o datos que se obtienen con las herramientas digitales. Será imperativo una renovada infraestructura tecnológica, además de identificar que datos son útiles para atacar los problemas existentes, y separarlos de datos que serán necesarios para afrontar retos en el futuro. (Aguado et al., 2021)

Para concluir este apartado, vale la pena reconocer que los ejemplos donde se ha implementado una transformación digital en el sector agua se han basado en tres premisas, 1.-

datos de buena calidad de una instrumentación correctamente instalada; 2.- un conocimiento básico de la incertidumbre de los datos; 3.- procesos robustos de mantenimiento de instrumentación, asegurándose de que se mantenga la precisión de la instrumentación. Por el contrario, han sido los datos de mala calidad, ya sea de instrumentos mal instalados o mal mantenidos, los que han resultado en el fracaso de algunos de los proyectos de transformación digital más prometedores. (Grievson, 2020)

2.3.3 El papel de los Agentes (tomadores de decisiones y los usuarios) dentro del modelo de Agua 4.0

Pavez & Sepúlveda (2019:196-199) realizaron un análisis de los diferentes planteamientos sobre el concepto de agencia de Anthony Giddens (2015), Pierre Bourdieu (2007) y Amartya Sen (1997, 2000), y destacan en primer lugar la idea de Giddens, que la agencia es una acción reflexiva, y proponen que “la posibilidad de los cambios sociales es inherente a los actos de reproducción social, en poder de los agentes”. “Los Agentes poseen un poder sentido amplio, tanto sobre la continuidad de la vida social como sobre su transformación”. Rescatan del texto de Giddens que “el poder de la agencia consiste en la capacidad de producir un efecto, una diferencia en tanto el agente puede obrar de otro modo, pues tiene la capacidad de intervenir en el mundo (o abstenerse de ello) e influir sobre los procesos”. En cambio, para Pierre Bourdieu y Amartya Sen, la agencia es un habitus y capacidad. Bourdieu propone que el “agente porta un habitus orientador de sus prácticas” y aclara que, “el habitus es la presencia actuante de todo el pasado del cual es producto”. Amartya Sen por otro lado relaciona el concepto de agencia con la capacidad de acción de los individuos, y define la agencia como “el ejercicio de dicha capacidad para proveerse de lo que necesita para satisfacer una necesidad, una habilidad para actuar de acuerdo a lo que importa”. Para Giddens y Sen “la agencia es un poder para actuar. Un ejercicio de libertad para Sen, y donde Giddens dota a los individuos de una capacidad de transformación social a través de su acción”

En la idea del Modelo de Agua 4.0, la capacidad de agencia recae sobre dos tipos de agentes, los funcionarios públicos o interesados que tienen la capacidad de producir un efecto real con sus tomas de decisiones, y el ciudadano, que tiene la capacidad de realizar una transformación

social en base a sus acciones. El reto es y seguirá siendo que los agentes antes mencionados puedan informar sus propias acciones y la acción de otros, y logren involucrar a los agentes que se abstienen de participar, además de generar el habitus a partir de una condición reflexiva del sujeto. (Ídem)

Los canales digitales especialmente las redes sociales, se han vuelto la plataforma para llevar a cabo las nuevas estrategias de comunicación y de marketing de la gran mayoría de las empresas, esto ha impulsado a los ‘influencers’, los cuales son personas que tienen credibilidad sobre algún tema en concreto, y pueden influenciar las acciones y decisiones de otras personas, basándose en su autoridad, conocimiento y posición. (Montes de Oca, 2022).

A medida que la digitalización avance en el sector del agua, y las formas de comunicación se reinventen, no se deberá tomar a la ligera la idea de que, para lograr un poder de agencia real, e incidir sobre hábitos no favorables para la conservación del recurso agua, habrá que recurrir a ‘influencers del agua’. Basta el ejemplo de la joven Greta Thunberg, que a sus 16 años logró captar la atención mundial al protestar fuera del parlamento sueco, y más recientemente con su discurso en la ONU sobre el cambio climático.

Es en base a la forma que se pueden operacionalizar estos tres elementos que se ha propuesto el modelo de Agua 4.0 y cuya finalidad dentro de esta investigación es identificar las oportunidades que representa para el Organismo de Agua y Saneamiento de Monterrey y su sociedad, además de los obstáculos que limitan o retrasan su incorporación. Se reconoce también, que tanto las tecnologías digitales de la 4RI, como la información y transparencia producto de la implementación digital, no tendrán el poder de transformar si los gobiernos, sociedad, industria y la academia no trabajan coordinadamente en la definición de políticas públicas y programas de cultura del agua, beneficiando así la gobernanza del agua.

2.4 El modelo de Agua 4.0 y una buena gobernanza del agua.

En el año 2004, las modificaciones a la Ley de Aguas Nacionales (LAN) orientaron las políticas hacia una Gestión Integral del Recurso Hídrico, (GIRH). La GIRH busca la

descentralización y la participación social a través de los organismos de cuenca, consejos de cuenca, comisiones y comités de cuenca y comités técnicos de aguas subterráneas.(Artículo 7 BIS, II) Además la participación informada y responsable de la sociedad, es la base para la mejor gestión de los recursos hídricos y particularmente para su conservación. (Artículo 14 BIS 5, XX). La LAN considera instrumento básico la participación de las organizaciones de la sociedad y de los usuarios, para desarrollar actividades específicas. (Artículo 14 BIS 6, V). La GIRH recomienda la construcción de la gobernanza como una nueva forma de gobierno, “donde el Estado figura como un garante del interés público, un facilitador de recursos y un coordinador de las varias actividades relacionadas con la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos, pero con el apoyo y participación de la sociedad civil organizada” (Valencia Vargas et al., 2007, :214).

Partiendo de las regulaciones actuales, la propuesta del modelo Agua 4.0, que busca que la información incentive la participación ciudadana se concibe justo en el tenor que se ha planteado, es decir, su participación informada se verá reflejada en la forma que sus hábitos de consumo y su voluntad al cuidado del agua tengan un cambio. Asimismo, el ciudadano que tenga la oportunidad de participar en la toma de decisiones a través de los comités o consejos, tendrá acceso a la misma información que los otros tomadores de decisiones.

Existen varios autores que consideran que la palabra gobernanza tiene demasiadas definiciones y usos (Toikka, 2011), y se refiere a fenómenos distintos en Estados Unidos y en Europa (Mussetta, 2009). Además de que la gobernanza y gobernabilidad son conceptos diferentes, y más si se trata del recurso agua (Rojas Ortuste, 2010). Y están los que consideran que “la gobernanza sigue siendo una construcción inconclusa que no sólo requiere debate conceptual sino mayor sustento empírico.” (Santes Álvarez & Pombo López, 2013:106), pero “la noción fundamental de la gobernanza es que existe la necesidad de alguna forma de toma de decisiones colectiva para dirigir la sociedad” (Peters, 2008:1)

En materia de gobernanza es indispensable contar con instrumentos de evaluación (Rojas Ortuste, 2010). Para el caso de la gobernanza del agua, instituciones como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la ‘Global Water Partnership’

(GWP), y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) han establecido una serie de principios en los que se basa la evaluación de la gobernanza del agua.

Como se puede apreciar en la siguiente figura (Fig. 4), los principios de gobernanza del agua planteados por las diferentes instituciones coinciden en hacer visibles, la transparencia, la eficiencia, y en menor medida la participación. Mucho dependerá del enfoque seleccionado el trazado de la metodología y su aplicación al caso de estudio.

GWP (2003)		OCDE (2015)		PNUD (2013)	
Enfoques	Apertura y transparencia	Efectividad	Roles y responsabilidades	Principios	Transparencia
	Inclusión y comunicación		Escalas apropiadas		Rendición de cuentas
	Coherencia e integración		Coherencia de políticas		Participación
	Equidad y ética		Capacitación		
Desempeño y operación	Rendición de cuentas	Eficiencia	Datos e información	Desempeño	Efectividad
	Eficiencia		Financiación		Eficiencia
	Capacidad de respuesta y sostenibilidad		Marcos regulatorios		Funciones
			Gobernanza Innovadora		
		Confianza y participación	Integridad y transparencia		
			Involucramiento		
			Arbitrajes entre usuarios		
			Monitoreo y evaluación		

Fig 4. Principios de gobernanza del agua resumidos por enfoque. Fuente (Ramírez & Lugo, 2019)

Los trabajos de (Ramírez & Lugo, 2019) y (Johns & VanNijnatten, 2021) utilizan diferentes métodos de evaluación de la gobernanza del agua, y dejan claro que las metodologías en si son adaptables, inclusive se puede elaborar un marco ad hoc de acuerdo con el objetivo y contexto de la región o institución a evaluar, así como las condiciones particulares del estudio de caso. Y es que una vez definida la metodología, y los criterios de evaluación, la forma más tradicional de obtener la información es por medio de indicadores. Algunas de las estrategias para mejorar el desempeño operativo de los OOAs han sido la de implementar sistemas de indicadores o un ‘benchkmark’, sin embargo, “no existe ningún sistema de evaluación del desempeño generalmente aceptado para hacer comparaciones consistentes del desempeño de los servicios de agua y saneamiento” (Stahre, Peter en Matos et al., 2021:20). Es justo en

estos indicadores de la gobernanza del agua que tiene cabida el modelo de Agua 4.0, como hace referencia Ramírez & Lugo (2019), se pueden emplear hasta once indicadores de transparencia, ocho indicadores de la rendición de cuentas, ocho indicadores de participación, además de casi treinta indicadores de desempeño, todos relacionados directamente con información que generan los OOA. Además, si se opta por utilizar la definición aceptada de la gobernanza del agua por la OCDE (2015) como “el abanico de reglas, prácticas y procesos (formales e informales) políticos, institucionales y administrativos a través de los cuales se toman e implementan decisiones para la gestión de los recursos y servicios hídricos, y se hace responsables a los decisores”, se vuelve necesario identificar y asegurar una trazabilidad de la responsabilidad de las decisiones, y esto también se puede atacar desde el modelo de Agua 4.0

Además, si se tiene en consideración, la posibilidad de que la ‘brecha digital’ se haga más grande ante la implementación del modelo de Agua 4.0, e identificando la ‘brecha de información’ dentro del marco de gobernanza del agua de la OCDE (Fig. 5), se puede inferir que la implementación del modelo de Agua 4.0 en un OOA, repercute directamente en la cantidad y calidad de información que se genera, y que gracias a las herramientas tecnológicas la información ya ha sido seleccionada y analizada, permitiendo la mejor toma de decisiones, y en el momento que no sea discriminatoria e incentive la participación ciudadana; ambas brechas pueden disminuir, logrando alcanzar una mejor gobernanza entre el OOA y la sociedad.



Fig 5. Marco de gobernanza del agua multinivel : Mind the Gaps, Bridge the Gaps,
Fuente OCDE

Adicionalmente se considera pertinente hacer mención de dos conceptos de gobernanza que se presume tendrán cabida en el futuro de la digitalización y que seguramente se volverá más común su uso dentro de futuras investigaciones.

La gobernanza digital, según la definición de Barros, Campera y Cabello (2016), citado por Cruz Romero (2017:6), implica “la organización y reglas presentes en un gobierno para conducir su política, estrategia de digitalización y para mejorar su gestión y entrega de servicios a los ciudadanos y empresas”. Además de la creación y el monitoreo de políticas para las inversiones y el uso de la tecnología digital en una organización (Swinfen Green & Daniels, 2020) , por otro lado está la gobernanza tecnológica, que Domínguez Serrano & Molina Rodriguez (2020) señalan que, si bien está relacionado más con la afectación tecnológica sobre los individuos, o con el monitoreo y el control político de los gobiernos hacia los ciudadanos, existe la posibilidad de aplicarla a los sistemas de agua, y los servicios públicos.

2.5 La Cultura del Agua

En el año (1995), Esteinou Madrid, escribía que “de no impulsar una profunda transformación cerebral y emotiva de la población alrededor de esta realidad, dentro de 50 años estaremos en

el mismo punto de partida en el que estamos; se contará con el desarrollo de una monumental obra hidráulica local, y paralelamente existirá una conciencia colectiva irresponsable que no valorará o aprovechará racionalmente, sino que la continuará derrochando y contaminando”. La realidad a la que se refiere, es al desperdicio del agua que se dio en Baja California Sur, mientras el estado efectuaba gastos exorbitantes para abastecer de líquido a los grandes asentamientos en la década de los noventa.

Casi 30 años después, se puede hacer una reflexión sobre la situación que se vive en gran parte del país, y particularmente en Monterrey y su ZMM, seguramente la respuesta sería que estamos en el mismo punto de partida. De ahí que la cultura del agua se vuelva tan importante para el modelo de Agua 4.0. ver Figura (6). Como ya se describió en los apartados anteriores el poder de la información y la forma en que se transmite deben estar orientadas en lograr un cambio de actitud en la población. Si bien es cierto, que no es el usuario el gran responsable de las problemáticas del agua, si se puede volver un actor importante en la solución del problema.

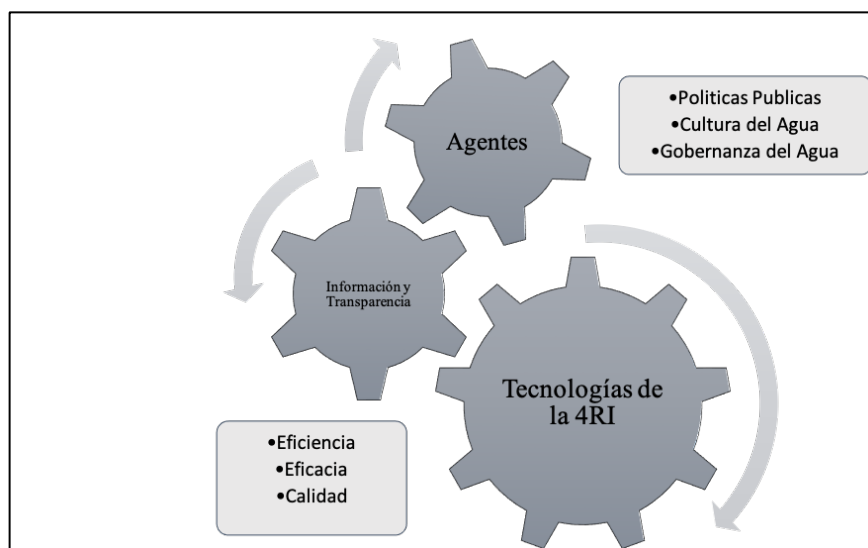


Fig. 6 Beneficios de la aplicación del modelo Agua 4.0 en un OOA.

Elaboración propia

Para Marissa Mar, Consultora del Programa Hidrológico Intergubernamental de la Unesco, para América Latina y el Caribe, en la entrevista de Sánchez (2022), reconoce que la comunicación no ha logrado visibilizar que “el cambio climático es fundamentalmente un asunto relacionado con el ciclo hidrológico y por tanto, con la seguridad hídrica”. El internet y la digitalización han posibilitado la creación y rápido crecimiento de otros formatos y canales de difusión, ej. videoblogs, canales de YouTube, páginas de Facebook, etc. Sin embargo, nuevamente se hace presente la brecha digital, que se representa en la cantidad de personas que no tiene acceso a internet, y a la cual no es posible hacer llegar este tipo de contenido, quedando excluida.

El objetivo del Programa ‘cultura del agua’ de acuerdo a SADM, es “contribuir a consolidar la participación de los usuarios, la sociedad organizada y los ciudadanos en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso, a través de la concertación y promoción de acciones educativas y culturales en coordinación con las entidades federativas para difundir la importancia del recurso hídrico en el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación de la riqueza ecológica, para lograr el desarrollo humano sustentable de la nación”.²⁸

Se identifica pues la necesidad de comunicar a la población cuál es la importancia del ciclo urbano del agua, además del ciclo natural, que el consumo del agua no puede ser infinito, y que un consumo cercano a los 100 litros por habitante diario está dentro de los parámetros de los países desarrollados.

Información de la reciente investigación que realizó Khodadad et al. (2022), nos devela el grado de disponibilidad que tiene la población de adoptar medidas de ahorro de agua ante las amenazas climáticas en México. Según los resultados de la investigación, la edad y el nivel de educación están asociados de manera significativa en la disponibilidad de adoptar medidas de ahorro, y entre mayor nivel de educación mayor nivel de compromiso, asimismo se encontró que en la mayoría de los casos los hombres son más propensos a adoptar acciones de ahorro. Por lo que se vuelve necesario, primero entender los riesgos que implican los cambios

²⁸ https://www.sadm.gob.mx/SADM/index.jsp?id_html=cultura consultado el 10 de marzo del 2022

climáticos y su directa relación con la escasez de agua, esto para llevar a cabo una comunicación efectiva y sus respectivas medidas de mitigación, y segundo diseñar campañas de comunicación dirigidas al sector de la población con menor grado de adopción de medidas de ahorro.

Por lo tanto, la nueva cultura del agua “debe de centrar su atención en elevar el agua a un nivel de profundo valor social que hay que cuidar, incrementar y proteger por ser la base de nuestra vida y civilización” (Esteinou Madrid, 1995:20), reconocer que los impactos de los riesgos climáticos si pueden modificar el comportamiento respecto a la voluntad de cambiar los hábitos del cuidado del agua (Khodadad et al., 2022). Por lo que el estado, en sus diferentes órdenes de gobierno, en conjunto con los OOAs jugarán un papel importante en la forma y el tipo de medios en que la información es transmitida, aprovechando todas las plataformas digitales y tradicionales, además de que su contenido debe de estar dirigido a diferentes sectores y segmentos poblacionales, para su mejor recepción.

Una reflexión que se puede rescatar del trabajo de Esteinou Madrid (1995), es que efectivamente por varias décadas los medios electrónicos de comunicación fueron capaces de persuadir las formas de pensar, de actuar y de consumir de las sociedades, ahora que se tiene una voluntad política, y una sociedad más organizada, ¿por qué no ha tenido éxito el poder inculcar buenos hábitos de consumo frente a una crisis del agua?

El diseño de políticas públicas que incorporen los instrumentos tecnológicos planteados en el modelo agua 4.0, para realmente contribuir en la formación de una cultura del agua por parte de los usuarios deberá incluir múltiples y diversos mecanismos de difusión de la información generada, instrumentos de sensibilización para un mejor aprovechamiento y uso por parte de los usuarios, mecanismos de redistribución más equitativa entre los diferentes grupos de sectores y usuarios, considerando diferencias económicas, sociales y territoriales, así como medios de educación ambiental dirigidos específicamente por grupo de edad y escolaridad, entre otros procesos.

III.- CONTEXTO DE EXPERIENCIAS DE DIGITALIZACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL DE DIFERENTES OOAs

3.1 Experiencias de digitalización del agua a nivel internacional.

Las experiencias internacionales en la digitalización de los servicios públicos de agua y saneamiento, abonan sin duda a comprender los retos a los que se han enfrentado países y ciudades enteras con el fin de resolver la problemática del agua en sus respectivas regiones. Y cómo estos retos se han vuelto ventanas de oportunidades para algunas empresas que han logrado trascender fronteras y ahora comercializan sus soluciones de digitalización en varios países a lo largo de varios continentes del mundo.

3.1.1 Singapur

La experiencia de Singapur digitalizando el agua, queda muy bien documentada en el libro que presenta la Agencia Nacional de Agua de Singapur, ‘Singapore’s Public Utility Board’ (PUB, 2020). Y es que desde 1990 cuando la tecnología para recuperar el agua de primer uso

mejoró y se hizo más asequible, después de extensas pruebas y auditorías, descubrieron que podían producir agua recuperada de alta calidad de una manera segura y sostenible, se concibió 'NEWater'. Ingildsen & Olsson (2016), también documentan el caso de Singapur, que desde el 2003 hasta la fecha producen la denominada, 'agua nueva', la cual, se recupera directamente de las aguas residuales después de haber recibido una ultrafiltración, un proceso de ósmosis inversa y un tratamiento de rayos ultravioleta, y es que esta agua nueva ya representa hasta el 30 % del consumo de agua en Singapur.

La innovación e inversión llevadas a cabo por Singapur, han convertido al país en un referente internacional en el manejo integrado del agua. El camino hacia la digitalización de todo el sistema de agua de Singapur empezó en el 2018 con proyectos clave en cuatro áreas principales: gestión de la calidad del agua con inteligencia artificial y automatización; mejoras clave de la red con inteligencia predictiva; compromiso integrado del cliente con datos de uso de agua; y un rediseño de trabajo más inteligente con automatización y robótica. (PUB, 2020) La Agencia Nacional también quiere empoderar a los clientes con información casi en tiempo real sobre su consumo de agua, para fomentar mejores hábitos de ahorro de agua y un cambio de comportamiento hacia la conservación del agua. Las empresas de servicios públicos también pueden rediseñar los procesos de trabajo para hacerlos más eficientes utilizando la automatización y la robótica. Se están probando analizadores automatizados que pueden analizar de dos a tres veces más muestras que los operadores humanos en la misma cantidad de tiempo, además de que se pueden realizar los análisis las 24 horas del día. La participación del sector privado y la academia es fundamental para la Agencia comercializando las innovaciones, co-invierte con organizaciones y abre algunas de sus instalaciones para pruebas en el mundo real, que están aisladas del resto de su red por seguridad. (Ibid)

Algunas lecciones de las cuales hay que aprender de la experiencia en Singapur, son que el mostrar a los empleados cómo la digitalización mejorará su equilibrio entre el trabajo y su vida, es clave para ganar su apoyo. Cuando las organizaciones promueven la digitalización, tienden a centrarse en los beneficios que se traducen en un aumento de productividad o en incrementar las ganancias. Los empleados, sin embargo, están más preocupados por cómo afectará su entorno de trabajo, y podrá existir una resistencia por temor a perder su puesto de trabajo por la automatización. (Idem)

Vale la pena destacar algunos elementos que se vuelven importantes para esta investigación, como lo es, el empoderamiento de los usuarios por medio de la información, la transición a un modelo de operación que buscando la eficiencia requiere de mayor personal calificado y especializado, asimismo acentúa el papel de la participación privada en los procesos de innovación. Mucho del diálogo que se tiene que llevar a cabo en las empresas de servicios públicos es en demostrar que la digitalización, lejos de ser una amenaza laboral para los empleados, puede mejorar el equilibrio entre el trabajo y su vida personal.

3.1.2 Aguas de Valencia, España

En 1890 se constituyó la ‘Sociedad de Aguas Potables y Mejoras de Valencia, S.A’ con el objetivo de modernizar el abastecimiento de agua en la ciudad de Valencia, España. En 1988 la sociedad pasó a llamarse ‘Grupo de Aguas de Valencia’, denominación que ha evolucionado hasta convertirse en la actual ‘Global Omnium’. La empresa brinda servicio a más de 300 municipios en 11 comunidades autónomas, facilita el abastecimiento de agua potable a tres millones de personas y trata las aguas residuales de cerca de tres millones de habitantes.²⁹

Líder en el mercado nacional de España en la gestión de contadores inteligentes, con 650,000 que operan actualmente; la generación y aumento de producción de biogás como energía renovable a partir del tratamiento de lodos bajo el liderazgo del proyecto ‘LIFE ECODIGESTION’. En el año 2016, en conjunto con la ‘Universidad Politécnica de Valencia’ se abordó el ambicioso proyecto de construcción de un Gemelo Digital del sistema de agua, actualizado a las nuevas plataformas informáticas y provisto de nuevas utilidades, destacando su escalabilidad, lo que permite su implantación en cualquier abastecimiento. El Gemelo Digital le permite a la empresa gestora de agua Global Omnium tomar decisiones en la gestión y operación de las redes para Valencia y su Área Metropolitana. Tras más de una década de

²⁹ <https://www.globalomnium.com/Grupo/Quiénes-somos/Más-de-125-años-a-tu-servicio/> consultado el 14 de marzo del 2022

experiencia acumulada en su desarrollo e implementación, el Gemelo Digital se ha convertido en una herramienta completa y fiable para la toma de decisiones, además de ser considerado una referencia en la industria. Desde su implementación se ha reducido el volumen de agua no registrada en más de un 30 %, ha mejorado la experiencia del cliente en un 60 %, ha ahorrado un 15 % de energía en los procesos de tratamientos de aguas y ha reducido los costos permanentes de mantenimiento en un 20 % (Conejos & Hervás, 2020).

‘Idrica’, es la empresa de ámbito mundial que forma parte del grupo Global Omnium, y cuya solución GoAigua es producto del éxito de la transformación digital llevada a cabo en Valencia España. Resultado del proceso de digitalización que comenzó hace diez años en Global Omnium con la extracción y análisis de los datos provenientes de la sensorización en campo. Lo que propició el desarrollo interno de soluciones basadas en tecnologías como Big Data o Inteligencia Artificial, orientadas a impulsar la eficiencia en la gestión.³⁰

Es de gran importancia conocer el contexto en que estas empresas se desarrollaron, porque en la actualidad se han vuelto un actor clave en los procesos de comercialización de soluciones de digitalización que se empiezan a implementar en los OOAs de México. Durante la investigación se tuvo la oportunidad de entrevistar y dialogar con el representante en México de la empresa Idrica, el Ing. Nicolás Monterde, quien nos dio un punto de partida para entender algunas de las oportunidades y retos a los que se enfrentan como proveedores en México, y cómo junto con los OOAs pueden desarrollar soluciones basadas en la digitalización de procesos. La implementación de su tecnología GoAigua en los OOAs de la ciudad de México y la ciudad de León se han vuelto hitos estratégicos para posicionar a Idrica como proveedor de soluciones en el mercado nacional.

3.2 Experiencias de digitalización de OOAs a nivel nacional.

3.2.1 Agua de Puebla para Todos

³⁰ <https://www.idrica.com/es/sobre-nosotros/> consultado el 15 de marzo del 2022

‘Concesiones Integrales, S.A de C.V’ es la empresa privada que desde el 2014 tiene la concesión de los servicios de agua potable y saneamiento de una de las ciudades más importantes del país, Puebla. Como mencionan Juárez Galindo (2021) y Durán Díaz (2019) en sus respectivos reportajes, ‘Aguas de Puebla’ y la empresa ‘INDRA’, el gigante tecnológico con presencia en todo el mundo, se unieron para crear un sistema fuera de serie orientado al usuario y a mejorar su experiencia. Considerado el sistema más vanguardista de toda Latinoamérica, conocido como ‘Onesait Utilities Customers’, parte de una sofisticada arquitectura tecnológica que permite automatizar todo el ciclo de comercialización-tiempo de respuesta-atención al cliente-comunicación multiplataforma, con el objetivo de garantizar altos índices de satisfacción para los 470 mil usuarios que atiende la compañía.

Prácticamente, Indra diseñó un modelo que se adapta por completo a condiciones extremas como la pandemia por COVID-19 al digitalizar los servicios, implementar aplicaciones, pagos electrónicos, pero también los multicanales como el desarrollo de oficinas comerciales, call center, gestores de cuentas, SMS, email, IVR, oficina virtual, redes sociales, entre otras muchas cosas. Además, cuenta con una sala de control para el monitoreo real de la infraestructura de agua potable y saneamiento.

Resulta de interés para esta investigación, el Programa Semillero Digital ADP, el cual incentiva a la formación intensiva y competitiva en programación enfocada a fomentar la empleabilidad en el sector y de alguna manera revertir la situación de la escasez de personal calificado. Y cuyo objetivo es la formación de profesionistas capacitados en el desarrollo y análisis de aplicaciones para que puedan aportar en proyectos de transformación digital dentro de Agua de Puebla para Todos.³¹

3.2.2 Sistema de Aguas de la Ciudad de México

El OOA de la CDMX, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) recientemente ha implantado la plataforma de tecnología GoAigua a través del socio

³¹ http://www.semillerodigitaladp.mx/assets/terminos/PROGRAMA_SEMILLERO_DIGITAL_2022.pdf
consultado el 15 de marzo del 2022

tecnológico español ‘Idrica’ empresa de ‘Global Omnium’, y cuyo objetivo es implementar un gemelo digital del conjunto de la red de distribución, por lo que es necesario alcanzar la completa automatización del sistema y tecnificar al máximo nivel todos sus procesos. El proyecto implica la automatización y la transformación digital efectiva de la CDMX, que se encuentra en pleno proceso de sectorización, con más de 800 zonas.³² Fue en el Laboratorio de Resiliencia, Sostenibilidad Hídrica y Procesamiento de Datos, donde se implementó la Plataforma de Datos del SACMEX, como centro de monitoreo y donde se utiliza la tecnología GoAigua para integrar distintas fuentes de datos, SCADAs, bases de datos y proveedores en una única plataforma. Además, se está mejorando el rendimiento hidráulico de la red, la generación de alarmas predictivas y la optimización de los procesos de mantenimiento con la introducción de herramientas avanzadas de analítica, como el modelado hidráulico y la inteligencia artificial.³³

3.2.3 Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León

Ante la falta de una herramienta que unifique todos los datos y que permitiera su mejor aprovechamiento, el OOA de la ciudad de León, Guanajuato, el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), en conjunto con la empresa española ‘Idrica’, desarrollaron pruebas piloto para implementar la solución GoAigua en una sección de la red hidráulica, esperando reducir los costes energéticos y las pérdidas de agua. El proyecto fue estructurado en dos etapas: la primera de implantación, que implicó la puesta a punto de las soluciones (Water Twin, FlowSens and Meter Insights) y la instalación de sensores adicionales. La segunda etapa, de monitoreo y resultados, donde se comprueba que mejoraron de manera sustantiva los indicadores de eficiencia física (rendimiento hidráulico), continuidad con el servicio, eficiencia energética e impacto en mantenimiento.³⁴

³² <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/11179819/04/21/Global-Omnium-entra-en-la-digitalizacion-de-la-gestion-del-agua-de-Ciudad-de-Mexico.htm> consultado el 16 de marzo del 2022.

³³ <https://www.idrica.com/es/blog/digitalizacion-de-la-gestion-del-agua-mexico/> consultado el 16 de marzo del 2022

³⁴ Con información de <https://www.idrica.com/es/proyectos/monitorizacion-de-la-red-de-agua-sapal/> consultado el 20 de mayo del 2022.

Además, se desarrollaron algoritmos que optimizan los programas de bombeo y la gestión de presiones, diseñados para el caso de SAPAL, aportando un gran valor a la solución, proporcionando buenos resultados. Tras los nueve meses de duración de las pruebas piloto, hubo una reducción del 54 % en las pérdidas de agua y una disminución en el coste energético de casi un 39 % en el OOA.³⁵

Además, SAPAL, con la preocupación de fomentar el desarrollo de tecnologías y proyectos que abonen a la buena gestión del agua, participó con el taller de “Mapeo abierto de la gestión de agua en el evento de Open Data Day León 2021”. Actividad que “permitirá que en un futuro se desarrollen plataformas o aplicaciones con datos de recursos hídricos provenientes de instancias como el INEGI, CONAGUA y ARESI entre otras” (SAPAL, 2021).

Se identifica un común denominador de las experiencias nacionales anteriormente mostradas, y es la participación de empresas privadas españolas como puntas de lanza en el sector de gestión y digitalización de procesos de agua. Si bien es cierto que las regulaciones del sector público para la participación de empresas extranjeras no son sencillas, se vislumbra que en un futuro permanezca su dominio en el ramo de la digitalización del agua, mientras en México no se desarrolle una industria nacional que pueda competir con las empresas extranjeras.

Sirva la siguiente tabla (8) para hacer visible la cantidad de empresas españolas que tienen una gran participación en el sector de agua mexicano.

Empresa	Actividad	Proyectos Destacados
ABENGOA	Diseño, construcción y explotación de plantas de tratamiento.	Acueducto El Zapotillo
ACCIONA	Diseño, construcción y explotación de plantas de tratamiento de aguas. Gestión/ implementación de sistemas.	EDAR Atotonilco (2017). Construcción y operación desaladora de Los Cabos.(mayo 2021)
AGBAR	Gestión del agua. Operación, mantenimiento y asistencia técnica.	Gestión de Agua en Saltillo y Veracruz

³⁵ Extracto de la nota <https://www.iagua.es/noticias/idrica/goaigua-mejora-eficiencia-operadora-sapal-mexico> consultado el 12 de abril del 2022.

FCC	Diseño y construcción.	Presa del Zapotillo. Mejoramiento Integral de la Gestión del Agua de Los Cabos (mayo 2021, FCC+Aqualia).
AQUALIA	Gestión del agua.	Diseño, construcción, operación, mantenimiento y asistencia técnica. Acueductos: el Realito San Luis Potosí y Querétaro, PTAR Cuernavaca, Desaladora Guaymas, Mejoramiento Integral de la Gestión del Agua de Los Cabos. (mayo 2021. FCC+Aqualia).
AYESA	Diseño, estudios técnicos, supervisión, y dirección de obra	Presa del Zapotillo.
CORSAN CORVIAM	Diseño y construcción.	Ampliación de la EDAR Norte de Puerto Vallarta.
GRUPO SOIL	Diseño y construcción.	PTAR PetStar
IDRICA+ Global Omnium	Operación, mantenimiento, ingeniería, consultoría y gestión comercial.	Programas BID PRODI-II. Y PRODI-I. Sistema de procesamiento de datos para SACMEX. Implantación de tecnología GoAigua en el sistema de abastecimiento de la Ciudad de México. SACMEX. (Abril 2021).
MINSAIT	Soluciones tecnológicas para la gestión del ciclo integral del agua.	Modernización de la gestión comercial del agua en Puebla.

Tabla No. 8 – Participación de empresas españolas en el Sector Agua en México.

Fuente: Oficina Económica y Comercial de España en México, www.icex.es

IV.- ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para dar respuesta a las preguntas y cubrir los objetivos de esta investigación, se desarrolló el análisis de toda la información recabada de los diferentes medios electrónicos, ej. periódicos en internet, artículos de revistas digitales, artículos científicos, además de las entrevistas a funcionarios del SADM y especialistas nacionales que participan en la industria 4.0 y la comercialización de soluciones para digitalizar los procesos en el sector agua y saneamiento en México, además de webinarios, y videografías en diferentes plataformas digitales. Este capítulo está dividido en cinco apartados de tal manera que se pueda dar respuesta de manera ordenada a las preguntas específicas de investigación.

4.1 Componentes de la tecnología digital o agua 4.0 en SADM

Este apartado atiende a la pregunta específica ¿Cómo se han implementado las tecnologías digitales de la 4RI en los procesos de generación de información y toma de decisiones en el OOA-SADM? Para dar respuesta se consideraron los comentarios vertidos en la entrevista del director de tecnologías e innovación de SADM, el Mtro. Eduardo Ortegón Williamson y la información disponible de funcionarios y exfuncionarios en webinaros o entrevistas videográficas en las plataformas de YouTube y Facebook.

A la pregunta, ¿Qué hace la dirección que tiene a su cargo? (Ortegon, entrevista, 2022) respondió : “El Departamento de Tecnologías del SADM, tiene el encargo de atender las tecnologías que tienen que ver con todo lo que es hardware, software, telecomunicaciones, sistemas SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos), SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) y GIS (Sistemas de Información Geográfica), además de la coordinación de procesos y calidad, que abarca todos los procesos de negocio, todas las certificaciones, todos los ISOS, y certificaciones internacionales.”

Ante la pregunta ¿con qué tecnologías de la 4RI está trabajando el SADM? el director de tecnologías del SADM mencionó, que al igual que PEMEX y Gas Natural, el SADM cuenta con el sistema SCADA para operar su infraestructura, “herramienta que, por una u otra razón, la tenemos muy desaprovechada, porque solo hacemos visualización de los niveles de los tanques y de los niveles de las presas. Vemos una oportunidad para sacarle el mayor provecho posible, y no nada más ver los niveles de los tanques, cuánta agua disponible tenemos o cuánta agua estamos extrayendo de los pozos, si no, cuánta electricidad está consumiendo cada pozo, la calidad del agua, la calidad de los efluentes y afluentes de las plantas tratadoras, los volúmenes tratados. Además de que ya se está considerando monitorear las descargas sanitarias” comentó también (Ortegon, entrevista, 2022)

Es importante, identificar que muchas veces el contar con la mejor tecnología no significa que se obtengan los resultados esperados. Esto muchas veces se vuelve un desmotivante para

futuras inversiones de parte de los tomadores de decisiones, si se considera que se invierten grandes recursos económicos en equipo subutilizado o mal empleado.

El análisis de Big Data, es otra herramienta de la 4RI que el SADM está explotando para procesar la información, según el Mtro. Eduardo, se están tomando muchas decisiones de inversión y de priorización de intervenciones, además de que se está usando para realizar un mapa de calor donde se identifican las zonas donde más reportes de queja se han generado, lo cual se puede traducir en una infraestructura deficiente o un drenaje dañado, y es ahí donde se priorizan las acciones de renovación de infraestructura. Además, dicha tecnología también se está utilizando para obtener estadísticamente la cantidad de agua que se deja de facturar por errores en la micro medición de los medidores residenciales. “Y es que se tiene información de más de un millón de medidores con alta precisión de información de la cantidad de agua que se está dejando de facturar” (Ortegon, entrevista, 2022)

El SADM como parte de sus acciones para el control de agua no contabilizada, ha implementado el uso de un sistema de detección de fugas vía satélite. En el seminario virtual ‘Diseño de Validaciones y Pilotos’ que llevó a cabo la empresa ‘Isle Utilities’³⁶. (Munguía, 2022) comentó que a través de la colaboración con el BID y con diferentes instituciones encontraron esta tecnología, y que a grandes rasgos opera de la siguiente manera: se toma una imagen satelital con un radar de apertura sintética (SAR) por medio de emisión de microondas, se realizan múltiples barridos conformados por una ráfaga de 1500 a 3000 pulsos por segundo en frecuencias entre 1.24 y 1.28 Ghz, los pulsos regresan al satélite y son unificados para obtener un solo barrido virtual que forma la imagen. Imagen que es procesada por medio de un algoritmo para identificar las zonas con fugas. Algunas de las ventajas de emplear esta tecnología es que se tiene un área de cobertura de 50 x 80 km, se identifican hasta 6,000 tipos de materia en base a su espectro electromagnético, hay una penetración promedio de 2.5 metros, una precisión del 90 % lo que reduce el área de búsqueda hasta un 95 % y se puede diagnosticar una ciudad completa en menos de un mes.

³⁶ Empresa internacional de consultoría dirigido a la vigilancia tecnológica. Recientemente incursionan en el mercado mexicano.

Además de las tecnologías antes mencionadas, se está llevando a cabo en conjunto con el BID el pago de un programa para la gestión inteligente de activos, tendencia que se ha vuelto muy relevante a nivel mundial en los organismos operadores de agua. "El SADM tiene miles y miles de activos, desde vehículos hasta infraestructura, bombas, tanques y tantas otras cosas, y desafortunadamente, la forma de darle mantenimiento es una manera muy reactiva, nos da problema y lo atacamos. Con este modelo de gestión de activos vamos a tener un inventario sistematizado y vamos a saber año con año qué cosas tenemos que hacerle a cada uno de nuestros activos. Queremos hacerlo con toda la anticipación posible, tanto los mantenimientos como la renovación de la infraestructura, esto nos va a ayudar financieramente a planear nuestros flujos de inversión de una manera más eficiente". (Ortegon, entrevista, 2022)

Adicionalmente a las tecnologías digitales, se ha identificado que el SADM cuenta con los más altos estándares y certificaciones en sus procesos comerciales, según Said Mazur (2020), los procesos comerciales del SADM tienen la certificación ISO 9001 desde el año 2003, por lo que se asegura la estandarización de los procesos comerciales, y el cumplimiento de los requerimientos de los usuarios, así como que la institución cuente con los recursos humanos, financieros y materiales para lograrlo. Además de la implementación del sistema de gestión comercial OPEN SGC para lograr incrementar la eficiencia de los procesos, que permite la consulta de información de forma rápida y automatizada, lo cual hace que los trámites sean ágiles además de reducir su costo.

Vale la pena recordar, que el Estado de Nuevo León es el único Estado del País, que trata sus aguas y sólidos residuales en su totalidad, cumpliendo y superando la todavía vigente norma NOM-001-SEMARNAT-1996. "Toda el agua residual del estado llega a una planta tratadora y sale como agua tratada con características superiores a las que exige la norma. Sin embargo, las tres grandes plantas que tenemos, la noreste, la norte y la más grande 'dulces nombres', por la naturaleza del uso del agua residencial, reciben diferentes volúmenes, a diferentes horas del día, lo que implica que estas operen como un switch, encendidas o apagadas, encendidas es como si estuvieran recibiendo el flujo máximo, lo que asegura que el agua tratada cumpla con las exigencias de la norma. Pero lo que está pasando con esto es que estamos usando equipos de más, gran parte del día" (Ortegon, entrevista, 2022)

El SADM tiene un proyecto denominado Multicanal que permite que los usuarios a través de diferentes redes sociales y otros canales tengan una mayor cercanía con el OOA, ayudando a la concientización en temas del agua, proyecto que pertenece al departamento de comunicación social. Desafortunadamente no fue posible obtener más información respecto a este programa.

Cómo se ha podido constatar, SADM es un OOA que se ha caracterizado por sus altos niveles de eficiencia y una visión estratégica que le ha permitido implementar las mejores tecnologías disponibles. El análisis de la información nos permite confirmar, que efectivamente el SADM ha encaminado esfuerzos y recursos para mantener la cantidad y calidad en el servicio de agua potable y saneamiento. La coyuntura de la problemática del agua advierte que es necesario fortalecer las áreas de planeación y considerar el manejo de riesgos, ya que tanto los riesgos sanitarios como lo fue la pandemia del COVID-19, así como los meteorológicos se pueden volver más comunes en el futuro. Adicional a la de sumar fuentes adicionales de agua para cubrir las necesidades futuras de la población.

La experiencia del SADM a través del testimonio de sus funcionarios y la información analizada, nos permite identificar una serie de oportunidades que se desprenden de la posibilidad de implementar el modelo de Agua 4.0 propuesto, y que pueden beneficiar directamente a la población de la ZMM y a la región, asimismo, se identificaron algunos factores que pueden limitar que se lleve a cabo su implementación. Oportunidades y limitaciones que se describen en las próximas páginas.

4.2 Oportunidades y limitaciones del SADM para avanzar hacia el modelo de agua 4.0.

Estas oportunidades y limitaciones detectadas pueden servir de guía para que otros OOAs identifiquen sus áreas de oportunidad y replicar los aciertos y evitar los errores de SADM. El siguiente apartado atiende a las oportunidades identificadas durante la entrevista al Director de Tecnologías del OOA, el Mtro. Eduardo Ortegón y en notas periodísticas, y es a partir de

palabras como queremos, deseamos y buscamos que se llevó a cabo la transcripción de las ideas, atendiendo el objetivo general de la investigación.

4.2.1 Oportunidades del SADM hacia el modelo de agua 4.0

En el SADM se está buscando que se implemente la inteligencia artificial para la modulación y apagado de equipos en función del volumen que tenga el afluente, garantizando la calidad pero logrando un ahorro energético. “Es necesario tener la mayor cantidad de mediciones por telemetría para tener la información en tiempo real y que se puedan tomar decisiones inmediatas” (Ortegon, entrevista, 2022).

Se está evaluando el uso de tuberías inteligentes para el monitoreo de los grandes acueductos que abastecen a la ciudad para una pronta detección de fugas, buscando una respuesta inmediata después de recibir las alertas con la ubicación exacta. Asimismo se quiere medir la mayor cantidad de parámetros, ejemplo: volúmenes, presiones, calidad de agua, características de las aguas residuales en tiempo real. También se quiere evitar que lleguen cosas que no deben de estar recibiendo las plantas tratadoras, es decir basura o ‘mugrero’, comentó también el director de tecnologías del SADM.

“Queremos automatizar lo que se pueda automatizar para ser más eficientes y gastar menos energía eléctrica.” (Ortegon, entrevista, 2022)

El SADM también visualiza la oportunidad de cambiar de suministrador calificado de electricidad, “una empresa que es tan intensiva en electricidad como la nuestra, no puede ser que compre su electricidad en suministro básico. Nosotros sabemos que con un usuario calificado y no tiene forzosamente que ser privado, puede ser el mismo CFE de suministro calificado, es imperativo migrar y participar en el mercado eléctrico para tener mejores condiciones.” (Ortegon, entrevista, 2022). Actualmente hay 60 puntos conectados en alta tensión, donde el 85 % de la electricidad consumida pudiera tener ahorros considerables.

Así como el proyecto donde participa el BID para la gestión de activos descrito en el apartado anterior, el SADM en conjunto con el banco CAF llevarán a cabo un proyecto para medir la eficiencia de todas las bombas, proyecto que detonará un programa de reposición de bombas que se traducirá en mayores eficiencias y un menor consumo energético.

Adicionalmente se identificó la oportunidad de aprovechar de mejor manera el biogás, resultado de los tratamientos de aguas residuales, SADM es el único OOA que trata todas las aguas y sólidos residuales en sus plantas tratadoras, proceso que genera mucho biogás. Por lo que se está evaluando de la mano de una empresa consultora israelí de amplia experiencia ¿cuál es la mejor manera para aprovechar el biogás? “Una de las posibilidades puede ser generar electricidad que el mismo SADM consuma, además de identificar cómo hacer más sustentable el proceso de tratamiento”(Ortegon, entrevista, 2022).

Estas oportunidades atienden en buena medida a seguir innovando e implementando herramientas que inciden en una mejor operación, a tomar decisiones de manera más efectiva y en un menor tiempo posible, además de lograr ahorros significativos tanto en consumo eléctrico como en mano de obra, esto motivado por la necesidad de aprovechar de mejor manera el recurso disponible, y en seguir ofreciendo servicios de alta cantidad y calidad para los usuarios de Monterrey y su ZMM. Sin embargo, también se vuelve necesario incentivar en la población un consumo moderado inclusive ahorrativo, ya que al final la solución a la problemática del agua en la región tendrá que ser un trabajo coordinado entre gobierno y sociedad.

4.2.2 Limitaciones del SADM hacia el modelo de agua 4.0

Una de las principales limitaciones identificadas dentro de SADM ante la implementación de un modelo de agua 4.0 es sin duda la subutilización de las herramientas SCADA y GIS, ya que no se están aprovechando a su máximo potencial, en particular las herramientas SCADA, las cuales solo se utilizan para medir los niveles de agua, y no para controlar acciones en la infraestructura. Otra limitación de SADM es el gasto eléctrico que tiene el Organismo ya que

este se vuelve el segundo mayor gasto después de la nómina, “se pagan cerca de los 100 millones de pesos mensuales de electricidad.” (Ortegon, entrevista, 2022)

La posibilidad de sufrir un ciberataque se vuelve más que un obstáculo, es una amenaza latente que tendrá que considerarse por los directivos del SADM, hay casos documentados de secuestro de información en Oficinas Públicas en México (ver apartado 4.3.4), que dejan el antecedente de lo vulnerable que pueden ser algunos sistemas informáticos.

Pero lo que más llama la atención es que aun con la gran cantidad de tecnologías, y herramientas implementadas en SADM, que se reconoce si benefician directamente en la eficiencia del OOA y en particular a los usuarios por la cantidad y calidad de agua que reciben, pareciera que se ha incentivado una cultura del desperdicio o mal uso del agua, en lugar del uso racional y el cuidado del recurso. Aunque existe un programa de cultura del agua, habría que identificar la manera de medir el impacto real, y hasta el día de hoy, aún con una problemática grave de falta de agua, todo indica que el consumo no disminuye, y en momentos hasta aumenta. Además, habría que hacer una crítica a la falta de planeación dentro del mismo OOA, que si bien correspondería a una administración pasada, falló en prever escenarios como el que atraviesa la región.

Un análisis sencillo de las redes sociales de SADM (Facebook y Twitter)³⁷, nos muestra que solamente en la red social Facebook tienen 341 mil seguidores, y en Twitter casi 64 mil seguidores. Si consideramos que estas redes sociales se han vuelto una forma efectiva de comunicar, quedaría pendiente identificar qué nivel de penetración logran en la población, y si es efectivo el mensaje que por estas redes se envía a los ya casi 6 millones de habitantes de Monterrey y la ZMM.

4.3 Factores y Obstáculos que impiden la implementación del modelo de Agua 4.0 en los Organismos Operadores de Agua a nivel nacional.

³⁷ Consultadas el día 14 de Mayo del 2022

La experiencia de SADM en Monterrey deja claro que ser un organismo operador de agua con altos estándares de eficiencia, se debe en gran medida a que es un OOA Estatal, a la cantidad de recursos que dispone, tanto económicos como técnicos, a su modelo gerencial, y otro tanto a la decisión de implementar la mejor tecnología disponible en el momento adecuado. Para el Ing. Nicolás Monterde, Gerente General de la empresa Idrica en México, “ los proyectos de agua son a medio o largo plazo, sino no van a funcionar. No puedes pretender resolver un problema de 20 años en seis meses o en tres años inclusive” (Monterde, entrevista, 2022). Sin embargo, también es necesario dejar claro que SADM al ser un OOA al servicio del estado, se torna complicado hacer comparaciones respecto a la mayoría de OOAs del país que son municipales, ya que existe una gran disparidad de manejo de recursos y de capacidad de actuación. Pero si sienta el precedente de que los periodos de gestión acotados al tiempo que duran los gobiernos municipales (tres años), así como la falta de continuidad de proyectos o de compromisos a largo plazo, el costo tan alto de las facturas de consumo eléctrico, la modificación a la norma para el tratamiento de las aguas residuales, la falta de financiamiento y el poco poder de injerencia sobre las tarifas inciden de manera negativa en la eficiencia y la eficacia de los Organismos Operadores de Agua, esto disminuye en gran medida la posibilidad de migrar a un nuevo esquema de operación. Sin embargo, y no debería ser el caso, también hace visible algunos conflictos o hasta caciquismo que se puede dar en los OOAs con periodos de administración más largos, si no existen las respectivas medidas para hacer responsables y castigar a los malos administradores públicos.

Para dar respuesta a los objetivos específicos de esta investigación, se analizan primeramente los cuatro obstáculos que se identifican en la lectura de (Sarni et al., 2019), siendo estos la integración de sistemas e interoperabilidad, el impacto en los recursos humanos, las soluciones financieras sin una propuesta clara de valor, y la ciberseguridad y se contrastan contra los comentarios de los actores entrevistados y del análisis de la información revisada. Ante la pregunta ¿a qué obstáculos se enfrentan los OOAs en la actualidad?, se identificó que las leyes y regulaciones, las tarifas, la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021 además de la operación de las plantas tratadoras, la existencia de una brecha generacional y digital son los principales obstáculos a los que se enfrentan los OOA y que pueden limitar o retrasar la implementación del modelo de Agua 4.0 propuesto.

4.3.1 Integración de sistemas e interoperabilidad

Aunque es más un obstáculo técnico, la diversidad de equipos electromecánicos y equipos computacionales que se podrían considerar cerca de la obsolescencia, y que todavía almacenan bases de datos o información crítica de sus operaciones, representa una limitación ante la adopción tecnológica y la conectividad con las nuevas tecnologías, muchas veces los nuevos protocolos de comunicación o la migración de las bases de datos puede representar un costo muy elevado, “más no significa que no haya solución, y por eso la arquitectura abierta y la estandarización tienen el potencial para acelerar la adopción digital” (Sarni et al., 2019:30)

Si se considera que inclusive organismos como SADM sub-utilizan herramientas digitales, esto da un panorama del escenario que viven organismos operadores de agua más pequeños. “En México existe una disparidad muy grande entre organismos operadores, desde el que tiene toda la digitalización posible, Ej. León, o Nuevo León, y otros organismos que no cuentan a veces ni siquiera con internet en sus instalaciones” (Rojas, entrevista, 2021). Para la Ing. Hernández (entrevista, 2022) uno de los principales obstáculos a los que se enfrenta la industria 4.0 en México es el acceso al internet de alta velocidad. Sin mencionar que todavía existen muchos municipios rurales y urbanos en el país con una cobertura limitada tanto en servicios de internet de banda ancha y de telefonía celular con acceso a servicios de datos para internet.

Según la ANEAS, se han detectado muchas empresas que llegan a ofrecer nuevas soluciones, y el primer reto al que se enfrentan es cómo hacer para que el costo no sea tan alto para los OOAs, y segundo, “cómo las tropicalizamos, porque lo cierto es que a veces buscamos soluciones en el extranjero y muchas veces muy poco tienen que ver con nosotros” (Rojas, entrevista, 2021).

Queda claro, que a medida que las tecnologías se estandaricen y un mayor número de OOAs opten por implementar soluciones digitales, la interoperabilidad será más transparente e implicará procesos menos complicados de migración y de integración. Mientras eso suceda, los OOA pioneros en hacer estos procesos de integración se enfrentarán a los retos ya mencionados.

4.3.2 Impacto en los recursos humanos

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, la digitalización de los procesos esenciales en las empresas y entidades públicas estará sustentado por las capacidades del capital humano, aunque exista incertidumbre de que las tecnologías digitales, o el uso de robots y de la inteligencia artificial representan una amenaza para los puestos laborales, todo indica lo contrario, ya que representa la oportunidad para que el personal se capacite y aprenda nuevas habilidades, y así aprovechar las tecnologías para hacer su labor más eficiente y gratificante. Por otro lado, seguirá existiendo una capacidad institucional limitada, en medida que sus directivos y funcionarios no tengan la preparación necesaria para afrontar la creciente problemática del sector.

De las entrevistas con el Dr. Ricardo Ramírez decano de investigación de la Escuela de Ingeniería y Ciencias del ITESM y la Ing. Clelia Hernández, directora de Nuevo León 4.0 se pudo elaborar el siguiente diálogo respecto a los retos y oportunidades de la Industria 4.0. en el sector laboral.

Para el Dr. Ramírez (entrevista, 2022) el principal reto al que se enfrenta México y más en particular Nuevo León ante una creciente industria 4.0, es la formación de talento que entienda e implemente las tecnologías digitales para beneficio de la sociedad, los recursos naturales, el gobierno y la industria. Además de la creación de valor social, económico, político y cultural en las empresas. Para Hernández (entrevista, 2022) las Universidades y los centros de educación superior y haciendo especial distinción en los del estado de Nuevo León, no alcanzan a cubrir la demanda de profesionistas para el nivel de inversiones e industrias que ya están instaladas y las que están por llegar al estado. Además la cercanía con Estado Unidos, propicia que muchos profesionistas migren a buscar trabajo a los países vecinos del norte.

La iniciativa Nuevo León 4.0 en alianza con las universidades del estado, estarían trabajando para estructurar cursos y diplomados trabajando de manera colectiva para aumentar la oferta de especializaciones (Hernández, entrevista, 2022). Por otro lado, Ramírez (entrevista, 2022) considera que, es desde la primaria y secundaria cuando hay que empezar a introducir los nuevos cursos o materias para preparar a los futuros profesionistas de la industria 4.0.

Ahora bien, en el sector agua se identifica que será necesario la formación interdisciplinar de nuevos profesionistas que adicional a la formación tradicional dominen los nuevos lenguajes de programación y las nuevas herramientas tecnológicas existentes. La especialización se dará solamente si los OOAs recurren a áreas de Desarrollo e Innovación, (I+D), y que hasta el momento solo se identifica esta área en algunos OOAs. Además muchas de las soluciones digitales son implementadas por proveedores especialistas, que cuentan entre sus filas a personal capacitado, que bien puede transmitir el conocimiento a los nuevos operarios. Para Rojas (entrevista, 2021) “el agua en México sigue siendo un tema de ingenieros, sigue siendo un tema donde participa mucho la ingeniería hidráulica, sin ver que unos de los temas principales es el de la gestión, y temas como la gobernanza para un modelo de gestión o para un sistema de gestión del agua se vuelve necesario.”

Hay que mencionar que actualmente se hacen grandes esfuerzos por parte de la ANEAS, el IMTA y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para con los OOAs asociados. Durante el año 2021 se habían capacitado alrededor de 3800 personas, gracias a que la ANEAS tiene la confianza de 26 de 29 estados que este año tomaron capacitaciones a nivel nacional. Capacitaciones sobre cuestiones profesionales, técnicas de sectorización, fugas, gobernanza, sistemas comunitarios, derecho humano al agua. “Aunque el tema de la digitalización en sí, es un tema que tenemos que establecer muy bien” (Rojas, entrevista, 2021)

Sin duda el impacto en los recursos humanos se vuelve uno de los factores u obstáculos más importantes, ya que en muchos casos la resistencia al cambio impide una buena transición entre una forma de trabajo y otra, además implica un mayor desarrollo de habilidades y conocimientos. Pero si se vislumbra una gran oportunidad para que los interesados, bien sean nuevos profesionistas o profesionistas en pleno desempeño a incursionar en áreas que por su naturaleza no han sido exploradas anteriormente.

4.3.3 Soluciones financieras sin un impacto de valor

Para Sarni et al. (2019) un presupuesto limitado dificulta la toma de decisiones entre realizar un mantenimiento previsto, o la de implementar una solución digital que a largo plazo beneficie en la eficiencia del organismo operador. El valor que pueden generar algunas de las tecnologías digitales implementadas en un OOA, ej. La reducción de gastos operativos o incrementar la resiliencia, serán determinantes en convencer a los tomadores de decisiones en qué sentido serán las inversiones. Los proveedores de tecnología tendrán que mostrar de qué manera cumplen y resuelven las necesidades de los OOAs. Además, de que será necesario un nuevo modelo de negocios que ayude a identificar los sistemas o procesos prioritarios que tengan un mayor impacto en la operación del Organismo Operador al momento de digitalizarlos.

En México, la mayoría de los OOAs operan bajo la administración del sector público, y muchas veces dependen financieramente del subsidio, lo cual ocasiona que tengan pocos estímulos para ser eficientes en el uso de sus recursos y por consiguiente brindar un servicio de calidad. Además de que un tercio de ellos opera en una escala de ineficiencia. (Aguilar-Benitez, 2021).

“La Organización para las Naciones Unidas, sostiene que para garantizar el abasto de agua a la población es necesario que los países en desarrollo inviertan el 0.3 % de su PIB. Para cumplir esta recomendación México requiere de una inversión sostenida de hasta 80 mil millones de pesos a lo largo de 25 años. Si se considera que la mayor inversión que se ha realizado en el país es de 25 mil millones en el mismo periodo de 25 años, representa medio siglo de retraso en materia de inversión en el sector agua. Para el 2022 habrá una inversión de 6 mil 300 millones de pesos, aunque sólo mil 398 millones están orientados al desarrollo de los sistemas operadores” (Palma Carro, 2021:6).

Después del diálogo con los diferentes actores del sector agua, muchos se refieren a la dificultad que tienen los organismos operadores de agua, por un lado, de cubrir los gastos de operación, es decir cubrir las tarifas de servicio eléctrico y la nómina del personal operativo, y por otro, la dificultad al acceso de financiamientos o recursos adicionales. “Los OOAs realizan evaluaciones para mejorar su eficiencia, sin embargo, las acciones de mejora

requieren muchos recursos para su realización y muchos de ellos están en una situación crítica, económicamente hablando” (Rojas, entrevista, 2021).

Esta relación costo-ingreso, así como las variables macroeconómicas, constituyen un factor de evaluación determinante para Fitch Ratings³⁸ a la hora de generar un criterio de calificación de riesgo crediticio y financiero para organismos operadores de agua potable y alcantarillado. Asimismo, los aspectos operativos relacionados con la capacidad del organismo, es decir el acceso a manantiales u otras fuentes de abastecimiento, la capacidad administrativa y tecnológica, los sistemas de recolección, transmisión y distribución de agua, se vuelven factores determinantes en la evaluación.

Evaluaciones que los acreedores tomarán en cuenta para invertir en los organismos públicos. Como referencia, la calificación crediticia de SADM por parte de esta calificadora fue aumentada de AA+(mex) a AAA(mex) el 19 de Noviembre del 2020, calificación que sigue vigente a la fecha³⁹ y que indica estabilidad en el largo plazo y una expectativa de muy bajo riesgo de incumplimiento de sus obligaciones financieras.

Foros, como los que lleva a cabo la empresa ‘Isle Utilities’ se han vuelto una vitrina para que los OOAs de Latinoamérica incluyendo México, tengan acceso a ver el portafolio de varias empresas tecnológicas con soluciones probadas en el sector. Según Valladares (entrevista, 2022) los Foros TAG, o ‘Technology Approval Group’, es el lugar donde participan empresas tanto públicas como privadas relacionadas con el sector agua, y cuyo objetivo es acercar las nuevas tecnologías y soluciones financieras de los proveedores y las financieras a los OOAs que estén buscando soluciones particulares.

Estos foros regionales muchas veces son financiados por el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, o el North American Development Bank, que tiene mucha participación en la zona fronteriza de México con la principal intención de acercar estas entidades financieras a los OOAs. Durante el transcurso de esta investigación la empresa ‘Isle

³⁸ <https://www.fitchratings.com/research/es/international-public-finance/organismos-de-agua-potable-y-alcantarillado-el-analisis-de-las-10-cs-15-01-2009> consultado el 10 de mayo del 2022

³⁹ <https://www.fitchratings.com/entity/servicios-de-agua-y-drenaje-de-monterrey-sadm-81906195#ratings> consultado el 14 de mayo del 2022

Utilites' realizó cinco seminarios con diferentes temáticas, logrando la participación de casi 200 organismos operadores y empresas de Latinoamérica por sesión, y aproximadamente 60 OOA's mexicanos. Por considerar de gran valor la información que se discute en las cinco sesiones de estos seminarios, se anexa el link de YouTube para futuras consultas y referencias.

40

Además existe el Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA), el cual es un mecanismo de financiación para el desarrollo de proyectos de materia de agua potable y saneamiento urbano, y se analiza en el trabajo de Ciudades Sostenible, por (Ethos, 2022)

4.3.4 Ciberseguridad

Para el Departamento de Seguridad Nacional de Estados Unidos, el sector del Agua y Aguas Residuales, es considerado como uno de los principales objetivos de los ataques cibernéticos entre los dieciséis sectores de infraestructura vital del país norteamericano. Su protección contra las amenazas a la ciberseguridad es un asunto de prioridad nacional (Hassanzadeh et al., 2020). Las ciber amenazas significan un riesgo importante para el sector agua a medida que este adopte mayores herramientas digitales en su infraestructura y sus procesos operativos. Por lo que, será necesario reforzar los departamentos tecnológicos para poder mitigar los riesgos y las vulnerabilidades que conllevan las conexiones externas a la red del OOA (Alabi et al., 2020).

A finales del mes de agosto del año 2021 se reportó el ciberataque a los servidores informáticos del Ayuntamiento del Gobierno de Morelia, en el estado de Michoacán, ataque que secuestró y encriptó información de los últimos tres meses, afectando el sistema de administración municipal que controla pagos y proveedores, el área de cajas y el reporte ciudadano para bacheo (Zamudio, 2021). Ejemplos como este hacen visibles la vulnerabilidad de los sistemas computacionales y la gran dependencia a la tecnología que hay en la actualidad

⁴⁰ https://www.youtube.com/playlist?list=PL0OL82gJgMMcG2-Mw_jN85LC4uZKRD8Wz
Canal de Youtube de Isle Global

para operar los servicios públicos. Organismos operadores de agua a nivel mundial han sido afectados directamente por ciberataques, como lo fueron los 15 incidentes a OOAs documentados por Hassanzadeh et al., (2020). Así que se considera que los OOAs se volverán más vulnerables a medida que las viejas tecnologías empiezan a convivir con las nuevas, y en la medida de que el agua siga siendo un instrumento de poder y control y se vuelva un factor de seguridad nacional.

4.3.5 Leyes y regulaciones

El artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos⁴¹, establece que es el Municipio quien tendrá a cargo la función y servicio público de Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales. Función que se atribuye a los OOAs municipales o estatales, según sea el caso. Sin embargo, la ANEAS en voz de su director general Rojas (2021) identifica una confusión sobre la fundamentación de los cobros que se pueden realizar, ya que la inclusión del Derecho Humano al Agua y al Saneamiento en el artículo 4º Constitucional provoca una confusión en la población general, que considera que no debe de existir cobro por el servicio que prestan los OOAs.

En materia de agua, el artículo 4º Constitucional.⁴² Se refiere al derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines. En el entendido que Estado se refiere a la (Federación, Estados y Municipios), y que desde el año 2012 que fue incluido el Derecho Humano a la constitución no se ha aprobado una ley que de certeza y que permita entender los conceptos mencionados o como debe de ser atendido este artículo.

⁴¹ <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/115.pdf> Consultado el 13 de mayo del 2022

⁴² <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/4.pdf> Consultado el 13 de mayo del 2022

El artículo 27° Constitucional⁴³, define a las Aguas Nacionales y que estas son de la Nación, y que es el Ejecutivo Federal el que podrá reglamentar su extracción y utilización, así como establecer zonas de vedas. Reglamentación que se traduce en la actual Ley de Aguas Nacionales.

En materia de prestación de servicios públicos, y de Agua potable. El artículo 28° Constitucional⁴⁴, hace referencia a los regímenes de servicio público, a que el estado contará con los organismos y empresas que requiera para el eficaz manejo de las áreas estratégicas a su cargo y en las actividades de carácter prioritario donde, de acuerdo a las leyes, participe por sí o con los sectores social y privado. Entiéndase estado, nuevamente como (Federación, Estados y Municipio).

Y el artículo 115° Constitucional, que ya se mencionó anteriormente. Se considera importante señalar que la prestación de los servicios por parte del Municipio están regulados por las legislaturas de los Estados, derivando en una Ley Estatal de Aguas, la cual otorga competencia y sustento legal a las funciones y facultades a los OOAs Municipales. Además, las legislaturas estatales, tienen la facultad de aprobar las tarifas por la prestación de servicios, las cuales deberán de ser acorde a los costos que implica la extracción y operación de los mismos OOAs, pero que desafortunadamente, muchas veces se establecen con fines políticos o electorales.

Vemos pues, en esta recapitulación de los artículos, como la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento le corresponde por mandato constitucional al Municipio, servicio que tiene que estar reglamentado y regulado por las Legislaturas de los Estados y su Ley Estatal de Agua para solicitar la autorización y aprobación de tarifas de cobro, las cuales son parte de su Ley de Ingresos. Además, el Ejecutivo Federal para el caso, la CONAGUA, tiene facultad de asignar las aguas nacionales a los municipios, y son los OOAs los encargados de gestionar los volúmenes de extracción y los de saneamiento. Por lo que se considera que el tema del derecho humano al agua y saneamiento deja una laguna jurídica y ante la falta de una nueva Ley de Aguas que establezca la forma de atenderse y su reglamentación, las

⁴³ <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/27.pdf> Consultado el 13 de mayo del 2022

⁴⁴ <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/28.pdf> Consultado el 13 de mayo del 2022.

confusiones y la resistencia al pago del servicio de parte de la población y de los actores del sector están sustentadas.

El artículo 22° de la Ley de Disciplina Financiera de las Entidades Federativas y los Municipios⁴⁵, establece que los entes públicos no podrán contraer financiamiento u obligaciones con gobiernos de otras naciones o particulares extranjeros, por lo que muchos fondos internacionales a los que tendría acceso México no se pueden ejercer directamente por los estados ni los municipios, estos fondos tienen que pasar por la federación, lo que ocasiona que Organismos Internacionales no sepan cómo apoyar o cómo invertir, “hay fondos a los cuales México tiene derecho, pero no los ejerce o no los aprovecha porque las leyes nacionales no permiten que esto sea así” (Rojas entrevista, 2021).

4.3.6 Tarifas

La urgente revisión de las políticas de tarifas y subsidios en materia de abastecimiento de agua potable y saneamiento, fue un común denominador en la mayoría de los entrevistados, y es que desgraciadamente estas políticas han dejado a varios OOA en una situación complicada, donde con dificultad se pueden cubrir los costos de operación, limitando la inversión en la ampliación y conservación de las obras. Martínez Austria et al., (2019:119) específicamente “destaca la ausencia de un ente regulador autónomo e independiente del gobierno que regule, audite y supervise los servicios de suministro de agua y saneamiento, con atribuciones para condicionar el financiamiento de los municipios con base en el cumplimiento de indicadores de rendimiento de calidad y cantidad, así como transparencia y rendición de cuentas”.

Para Rojas (entrevista, 2021) la reestructuración del esquema tarifario, resultado de la entrada en vigor de la reforma energética en el año del 2017, colocó en una situación de vulnerabilidad a los OOA. Ajuste que implicó equiparar la tarifa a la industrial sin posibilidad de ser modificada. Resultado de la modificación tarifaria, el incremento promedio en las tarifas de agua fue de 70 % lo que se traduce en un aumento del 42 % que repercute directamente al consumidor final. Para Ortegon (entrevista, 2022), antes de la reforma energética los OOA

⁴⁵ <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LDFEFM.pdf> Consultado el 1 de Julio del 2022

tenían una tarifa eléctrica especial, que reconocía la naturaleza social del servicio, proveer agua y de servicios de alcantarillado y saneamiento a la población. Con la reforma, “nos equipararon con la industria privada y a los OOA nos subió la tarifa, ahora ya pagamos lo mismo que paga Coca Cola, pero no somos una empresa con fines de lucro, al contrario, somos una empresa que tiene un fin social” comentó. Existe pues, una relación directa entre las tarifas eléctricas y los costos operativos de distribución del agua, repercutiendo en algunos casos directamente en las tarifas que la población tiene que pagar, y otras veces terminan siendo subsidiadas por los mismos OOA, y que los pone en una situación precaria financieramente.

Como ya se explicó en el apartado anterior, los OOA muchas veces no tienen la facultad para modificar las tarifas, ya que dependen de la aprobación del Congreso del Estado, y estas muchas veces se aprueban en función de cálculos políticos y no de cálculos técnicos, “muchas veces no están relacionados los costos de producción” (Rojas, entrevista, 2021). Como se describe a continuación, la aprobación de una modificación a la NOM-001 también complica la operación de varios Organismos Operadores de Agua y Saneamiento. Esfuerzos desde la ANEAS han propuesto establecer una tarifa eléctrica preferencial para el servicio de agua potable y una tarifa preferencial para las actividades de saneamiento (Rojas Silva, 2022b).

4.3.7 NOM-001-SEMARNAT-2021 y las plantas tratadoras

Sin duda un problema para muchos organismos operadores de agua y saneamiento es el funcionamiento y operación de las plantas tratadoras de agua, cómo ya se identificó anteriormente, el alto consumo eléctrico de estas representa uno de los mayores gastos operativos de los OOA. Para Ortegón (entrevista, 2022), esta es una de las razones por las que no se prenden y no se usan en gran parte de México, además de que desafortunadamente los organismos se enfocan en proveer el servicio de agua, y no que se hace con el agua después.

Recientemente, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT), publicó el 11 de marzo del 2022 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, por la NOM-001-

SEMARNAT-2021 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores propiedad de la Nación. Para Monterrey y SADM implica renovar sus 12 plantas tratadoras en menos de un año para cumplir con la eliminación de los 12 parámetros de contaminación de las aguas residuales que ahora estipula la norma. Esto implica para SADM una inversión estimada de 1,500 millones de pesos, según el reportaje de Rodríguez (2022), la paraestatal ya reconoció que el tiempo no le va a alcanzar para cumplir el ordenamiento federal en tiempo, por lo que pedirá una prórroga de un año. La norma no se había actualizado desde 1996, y entrará en vigor a los 365 días naturales posteriores a su publicación.

Se considera como un obstáculo adicional para los Organismos operadores de agua, solventar esta nueva norma, ya que no fueron consensuados los OOAs, como menciona Arturo Palma Carro, Presidente de ANEAS en entrevista con (Juárez Galindo, 2021b:34), “¡Imagínate que absurdo! Modificar una norma sobre agua residual y no invitar a los organismos que tratan el agua. ¡Es absurdo que no nos hayan invitado! No nos permitieron dar una opinión. Entonces tenemos un camino franco para una acción legal”. Situaciones como estas, revelan una falta de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, sustentado la hipótesis de que existe una mala gobernanza en el sector agua. Para Valladares (entrevista, 2022) “se vuelve una gran oportunidad para la implementación de nuevas tecnologías en el ramo del saneamiento que permitan alcanzar los niveles deseados por la norma, si se considera que 95 % de las plantas de tratamiento a nivel nacional incumplen con la nueva regulación”.

Por lo que, si los OOAs como el SADM inclusive necesitan una gran inversión para cumplir con esta nueva norma sanitaria, el panorama para los OOAs más pequeños y con menos recursos sin duda pondrá en aprietos a más de alguno, pero a su vez, abre la oportunidad de implementar innovaciones en el sector de saneamiento que, si bien no todas son digitales, son igual de importantes para la futura conservación y aseguramiento de las fuentes de agua.

4.3.8 Brecha generacional y digital.

Se ha hecho énfasis que ante la implementación de un modelo de digitalización de los servicios públicos se puede generar o intensificar una brecha digital, algunos de los actores entrevistados hacen referencia a una brecha generacional, y es en ese sentido que se discute este apartado.

Según datos de la última Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental ENCIG - 2021 del INEGI ⁴⁶, el 45.7 % de las personas en México realiza el pago de trámites o solicitudes de servicios directamente en las instalaciones de gobierno, mientras que para el 2019 el porcentaje de personas era del 56.6 %, en ese mismo tenor, para el 2019 solo el 4.8 % utilizaba el internet (páginas web, aplicaciones de celular, entre otras) para realizar los pagos, y para el 2021 la cantidad aumentó al 14.4 %. Esta encuesta también revela que a nivel nacional, 54.5 % de la población mayor de 18 años tuvo una interacción con el gobierno a través de Internet. Un incremento de más de 20 puntos porcentuales respecto al valor del 2019, y donde el principal problema para realizar el pago, trámite o solicitud son las barreras burocráticas, y no tanto un problema con las TIC.

A raíz de esta información se puede identificar una tendencia en aumento a utilizar las diferentes plataformas digitales de Internet para realizar pagos de servicios, y en menor medida una reducción de las personas que se desplazan hasta las oficinas de gobierno para realizar el pago directo en ventanilla. Según el informe Digital 2021 publicado por ‘We Are Social’ y Hootsuite⁴⁷, tan solo en México existen 115.4 millones de conexiones móviles a través de un SIM (chip con número telefónico), que representa un 89 % de la población total en México. Hay 92 millones de internautas que en promedio invierten hasta 9 horas por día en Internet (incluye redes sociales, stream musical y de video, noticias, etc...) Es decir, se ha naturalizado tanto el uso de los dispositivos inteligentes (teléfonos celulares, tabletas y laptops, Smart TV...)

Existe un sector de la población, en particular las personas mayores, que quedan excluidas del uso de las tecnologías, por desconfianza, por desconocimiento, o simplemente por seguir

⁴⁶ https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encig/2021/doc/encig2021_principales_resultados.pdf consultado el 26 de mayo del 2022

⁴⁷ El informe se puede consultar en <https://wearesocial.com/uk/blog/2021/01/digital-2021-uk/> consultado el 25 de mayo del 2022

realizando rutinas de socialización en el proceso de pago de servicios. Como menciona Rojas (entrevista, 2021) la posibilidad de utilizar las herramientas digitales de comunicación sobre todo en sectores de la población con un alto grado de marginación, o de nivel socioeconómico bajo, pero con acceso a dispositivos digitales por parte de los jóvenes, debe y se vuelve imperativo aprovechar esta vía de comunicación para informar a través de ellos a sus familiares más adultos desde los cortes de suministro de agua hasta las alertas climatológicas.

En la medida que los servicios públicos, y para el caso que nos atañe, los OOA públicos, utilicen canales de comunicación que atiendan a todos los sectores de la población, el uso de las tecnologías puede sin duda coadyuvar a que un mayor número de personas, sin importar su condición social y económica, reciba la misma calidad de información.

Por otro lado, se considera que, dentro de los próximos 10 años, dará paso al relevo generacional dentro del mismo sector público que atiende, opera y administra los OOA. Esto se vuelve una oportunidad para la formación de nuevos profesionistas, especialistas, y técnicos que sin duda tendrán el gran reto de continuar la gestión integral del recurso hídrico.

4.4 Hacia el modelo Agua 4.0 en México

Este capítulo recoge las oportunidades y obstáculos identificados del modelo de Agua 4.0 y se propone lo que se considera pudiera ser el funcionamiento ideal del modelo propuesto. Bien valdría la pena reflexionar y preguntarse si transitar hacia un modelo de Agua 4.0, es un cambio de juego, o solo de las reglas del juego, si es algo que puede ser opcional o inclusive si se vuelve necesario una política orientada a la implementación de las tecnologías digitales en los OOA para mejorar su gobernanza. (Sandoval, entrevista, 2021). Ante estas interrogantes planteadas durante la entrevista con el Ex consultor del BID Ricardo Sandoval Minero, y derivado del análisis de esta investigación, se puede contestar que las tecnologías digitales, en particular las de la 4RI se volverán herramientas obligadas para el sector de agua y saneamiento, que efectivamente están cambiando las reglas del juego, y que se puede explorar en futuras investigaciones la factibilidad del diseño de una política pública orientada a la digitalización de los OOA.

Avanzar hacia un modelo de Agua 4.0 no será una tarea fácil para los OOA en México, como se ha podido observar en los capítulos anteriores, existen obstáculos que atender, que requieren en muchos casos una atención prioritaria antes de hacer la adopción de tecnologías digitales. Sin embargo, se considera que las oportunidades y beneficios que representan estas tecnologías aplicadas en el subsector de agua y saneamiento en la sociedad, se pueden volver un incentivo político y social para su adopción.

La generación de indicadores, que permitan la evaluación del modelo de Agua 4.0 propuesto, es y será un reto para futuras investigaciones, “indicadores tecnológicos que pueden ayudar a determinar qué impacto tiene en el consumo de agua de las personas, que impacto tienen en la eficiencia de los OOA, qué impacto tiene el que haya participación, transparencia, ética en la cuestión de la gobernanza del agua” (Rojas, entrevista, 2021).

Sin duda la reducción de fugas y el agua no contabilizada (facturada) se vuelve una de las grandes oportunidades y de las grandes promesas de la digitalización del agua, las lecturas y el estudio de caso, nos permiten aseverar que en conjunto con las imágenes satelitales y de la mano de los nuevos sensores embebidos en los medidores inteligentes y la utilización de herramientas de inteligencia artificial se volverán herramientas tecnológicas muy socorridas por los OOA. Además, se debe de considerar que, para el procesamiento de imágenes satelitales, no se requiere de grandes inversiones.

La dificultad para acceder a la información por parte de los agentes interesados, y los funcionarios públicos tendrá que reducirse, a medida que avancen los procesos de generación y administración de la información, sin duda se puede obtener valor significativo que permita la toma de decisiones y un mejor diseño de políticas públicas. Los OOA de la mano de sus funcionarios deberán anticipar, planear, e inclusive diseñar estrategias que mitiguen la incertidumbre que generan las amenazas climáticas, considerando cada región del territorio mexicano, huracanes, ciclones para sus costas y las sequías en el centro y norte del país. Además de que se debe experimentar con las diferentes formas de compartir información a los usuarios, para lograr un cambio de hábito en el consumo de agua.

Una mejor calidad del agua para las regiones o ciudades donde esto no ha sido posible, se vislumbra con la llegada de los sensores y el monitoreo en tiempo real de las fuentes de abastecimiento. Una infraestructura hidráulica renovada, o en buen estado gracias a los mantenimientos predictivos, será un componente adicional para lograr mantener niveles de eficiencia aceptables. Recordar que una transformación digital puede empezar por procesos simples de análisis de la información, de tal manera que esta información permita una mejor toma de decisiones, ya sean técnicas, puramente de operación, comercial o inclusive administrativas. (Sandoval, entrevista, 2021) En la actualidad existen soluciones digitales en la nube que se contratan solo para tareas específicas, no es necesario hacer grandes inversiones para poder tener acceso a tecnología digital de punta, el aprovechamiento de los esquemas de infraestructura como servicio o software como servicio sin duda irán en aumento, y será un gran respaldo para los OOAs más pequeños.

Ingenieros civiles, hidráulicos, biólogos, economistas, administradores, y los gestores del agua, sin dejar fuera a la fuerza operativa y técnica, tienen la encomienda histórica de llevar la gestión del sector hídrico en el país. En el futuro se vislumbran nuevas áreas de capacitación y de especialización para todo el sector, que incluyen conocimientos sobre lenguajes de programación, algoritmos, sensores, Big Data y analítica, y una mayor participación de ingenieros eléctricos y electrónicos, en sistemas, y carreras a fines de la tecnología. Además de un mayor diálogo con las ciencias sociales que permitan el análisis y la solución de los problemas de gobernanza, de normatividad y legislación y de gestión que atañen directamente al sector.

La adopción digital en el sector agua también es una cuestión de voluntades y de decisión, el director del organismo operador debe de estar convencido de que implementar soluciones de digitalización es una solución viable y lo debe de transmitir a todos el personal. Los programas de apoyo gubernamental, y del sector privado a través de la banca de desarrollo se vuelven una gran oportunidad para el acceso a recursos para los OOAs. No será fácil cubrir los requisitos para estos apoyos, pero inclusive un proceso de digitalización sectorizado puede solventar los problemas más urgentes y modificar los valores de los indicadores que son parte de estas evaluaciones.

Aunque la Digitalización es solo una de las tendencias en cuanto a la innovación que se lleva en sector agua, se considera que gracias a la disponibilidad y reducción de costos de las nuevas tecnologías se volverá de las tendencias más socorridas por el sector. Para Monterde (entrevista, 2022) “La digitalización o la adopción de tecnologías es algo que se va a dar y no es algo que vaya a parar”. La participación de empresas internacionales en la promoción y venta de soluciones probadas de digitalización está en su etapa inicial. Se considera de gran importancia impulsar una política tecnológica que incentive a los desarrolladores y creadores de tecnología nacional, a ser parte de las soluciones que tanto se necesitarán.

Un marco legal y normativo, que establezca de manera clara las directrices y corrija los vacíos legales respecto al derecho humano al agua y el sistema tarifario será fundamental para lograr una buena gobernanza, autonomía y el no depender de los subsidios federales de parte de los OOAs.

La posibilidad de utilizar energía hidráulica, además de energía solar, el utilizar los gases de las PTAR para la generación de energía, la optimización de los procesos de estas mismas para disminuir el consumo eléctrico, es una gran oportunidad para implementar las nuevas tecnologías, en particular las de la inteligencia artificial y el machine learning, controlando el encendido y apagado de las plantas dependiendo de la cantidad de agua residual que estén recibiendo.

Al final, el modelo de Agua 4.0 puede ser un referente utópico de la gestión de un OOA ideal, es decir, que brinde servicios de agua potable y saneamiento con calidad y eficiencia, creando corresponsabilidad con el usuario, donde la información fluya en ambos sentidos, de tal manera que el usuario entienda el valor del agua, y se cubran las cuotas del servicio. Donde se aprovechen las tecnologías para el ahorro de energía y la generación de la misma, y la tecnología esté al servicio de la sociedad, incentivando la conservación y el cuidado de las fuentes de captación y abastecimiento de agua.

Corolario

Participación Privada en los OOAs

Dentro de los resultados de la investigación se pudo identificar como la participación privada en el sector de agua y saneamiento ha ido en aumento, solo hay que voltear a ver al estado de Querétaro, donde el Gobernador Mauricio Kuri González entregó a particulares los organismos operadores del servicio de agua potable⁴⁸. Para Rojas (entrevista, 2021) la participación privada es fundamental, “hay un falso debate entre privatización y participación privada, donde la participación privada es una condición si bien no suficiente, si necesaria, obligada por el ambiente de reducción presupuestal”. Las empresas, que en su mayoría son extranjeras, “cuando realizan el análisis de México en sus características socioeconómicas y geográficas pudiera parecer un mercado muy atractivo, sin embargo, cuando llegan se dan cuenta que los organismos operadores no tienen facultades de tarifas, no tienen órganos de control, no tienen un regulador como tiene Colombia, por ejemplo, que pueda establecer criterios generales.” Comentó el maestro Rojas en la entrevista.

Empresas como Idrica, exploran el mercado nacional desde las dos oportunidades que se abren para ellos, el ser proveedor de servicios a los OOAs y las Asociaciones Público Privada (APP). Según (Monterde, entrevista, 2022) los primeros proyectos en los que están trabajando van más en el sentido de la consultoría con experiencia en la operación, ofreciendo las herramientas que facilitan la operación y que van muy ligadas con la digitalización. Recordar que los tiempos para ejercer las partidas presupuestarias en la administración pública son anuales, y muchas veces carecen de continuidad, lo que limita a los proveedores de proyectos y al diseño e implementación de los mismos.

A título personal, se considera que no se debe caer en el engaño del discurso neoliberal, de que el sector privado es invariablemente más eficiente que el público. En el caso del sector agua mexicano hay OOAs del sector público que están a la altura de cualquier OOA a nivel mundial, y que trabajan de la mano del sector privado, desde la proveeduría y el financiamiento.

4.5 Diagnóstico de problemática coyuntural del agua en Monterrey

⁴⁸ Extracto de la nota <https://contralinea.com.mx/interno/semana/inician-privatizacion-del-agua-en-queretaro>. Consultada el 14 de Julio del 2022.

La Evaluación de la gobernanza del agua en la Zona Metropolitana de Monterrey, que el Tecnológico de Monterrey y Fundación FEMSA realizaron en el 2019, (Ramírez & Lugo, 2019) concluye que la gobernanza del agua en cualquier contexto geográfico no es tarea fácil, ya que es complejo el entramado de leyes, normas, procesos, arreglos institucionales y muchos otros factores que inciden en la forma que se gestiona el recurso, además de la multiplicidad de actores, la falta de claridad en las funciones y el traslape de las mismas. El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), establece tres principios de gobernanza, *transparencia, rendición de cuentas y participación*, y que por sus siglas en inglés se denomina TAP. Es bajo este enfoque, que el estudio arriba mencionado, evaluó a una lista corta de actores, resultando que organizaciones como el Consejo de Cuenca del Río Bravo (CCRB) son de los peor evaluados respecto a transparencia y rendición de cuentas, contrario a SADM que resulta con los mejores indicadores. Ejercicios como este, revelan la debilidad y las fortalezas de los actores asociados a la gestión integrada del recurso hídrico en la región.

El ‘día cero’, para una población es la fecha en la que no habrá suficiente agua para satisfacer las necesidades de sus habitantes. En enero del año 2018, Ciudad Cabo en Sudáfrica, advirtió una crisis que podría haberla convertido en la primera gran ciudad de la era moderna en quedarse sin agua (Wang & Fu, 2021). Las mayores reservas de agua de Ciudad Cabo son las represas que abastecen la ciudad, tras tres años de bajos niveles de lluvia los niveles de las represas cayeron al 25 % de su capacidad para finales de enero del 2018, para los primeros días de abril del mismo año se esperaban niveles del 13.5 %. En este punto crítico, solo se suministrará agua a los servicios críticos, como los hospitales y actividades esenciales. Algunos residentes de la ciudad se vieron obligados a hacer fila para recibir raciones diarias de 25 litros de agua por persona. El día cero se pudo retrasar casi un mes gracias a la combinación de una campaña agresiva de conservación de agua, y de eficiencia, además de un fortuito incremento en las lluvias. La campaña implicó restricciones de agua a las áreas agrícolas, la implementación de una tarifa elevada que penaliza a los grandes usuarios de agua, se prohibió el uso para llenar piscinas, regar jardines y usos no esenciales, y la instalación de un nuevo sistema de presión de agua. Además, de aumentar la concientización con la colocación de letreros electrónicos que anunciaban cuántos días duraría el suministro actual de agua y con la publicación de un mapa de la ciudad que permitía a las personas

comparar su consumo respecto al de sus vecinos. Hay que resaltar que la participación de la comunidad fue igual de importante, se intercambiaron consejos para ahorrar agua por las redes sociales, los hoteles sugerían a los turistas el tomar baños cortos, y solo descargar el inodoro cuando fuera necesario, y los restaurantes disminuyeron la preparación de pasta y verduras hervidas.⁴⁹

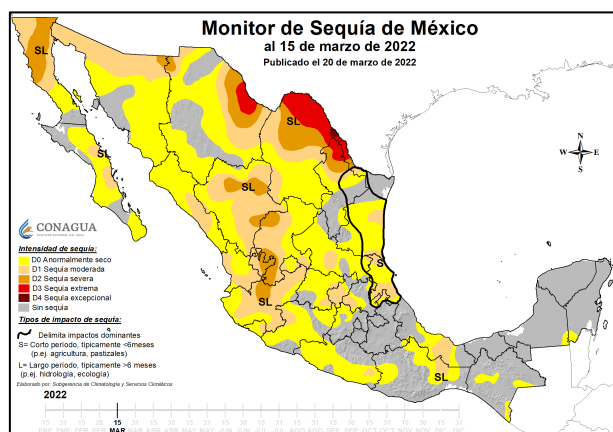
Según Roberts (2021), algunas de las narrativas de los tomadores de decisiones que acontecen después de la experiencia de Ciudad Cabo cuestionan la dificultad de evaluar qué organismo es responsable de la actual escasez de agua, ya que durante el período posterior al apartheid, los problemas de gestión de los recursos se han vuelto intensamente políticos. El suministro de agua está plagado de conflictos e intereses creados, y el gobierno a menudo prioriza las necesidades de los más influyentes sobre las necesidades de los más pobres. Existe discordia entre los gobiernos de la ciudad, provincial y nacional, y hay dificultad para que los partidos políticos trabajen juntos. Ninguno de los partidos quiere que el otro sea visto como un gobierno competente. Aunado a esto, Ciudad Cabo es la cuarta ciudad con mayor desigualdad en el mundo, por lo que en una situación de crisis como el día cero, el suministro de agua será limitado para la mayoría de los residentes y los servicios no esenciales. Sin embargo, en teoría, el suministro de agua para los asentamientos informales seguirá siendo abastecido de la misma manera que ya se realiza, por lo que para la población de estos asentamientos poco cambiará como resultado de la crisis. Lo que convierte al ‘Día Cero’ en una crisis de la clase media, ya que la élite de la ciudad no teme las multas, mientras que los más pobres apenas tenían agua para empezar.

El ejemplo de Ciudad Cabo en Sudáfrica, pone de manifiesto la posibilidad latente de presenciar un futuro escenario que puede ocurrir en varias regiones del mundo, y no solamente donde la principal fuente de suministro de agua, es la lluvia y su almacenamiento en presas. En México, se encendió la alarma en el estado de Nuevo León, que este año 2022 será recordado por sus habitantes por que después de casi 25 años, SADM recurrió a cortes programados de agua, y que junto a una estrategia de comunicación tratan de incentivar una

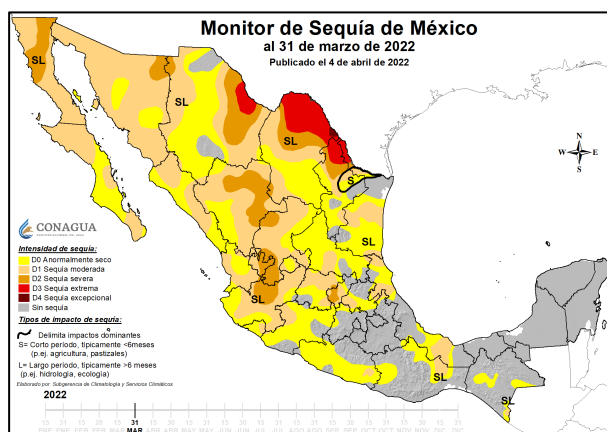
⁴⁹ Resumen elaborado a partir de la nota <https://globalresilience.northeastern.edu/avoiding-a-water-crisis-how-capetown-avoided-day-zero/> Consultado el 2 de Abril del 2022

disminución del consumo de los usuarios, esto ocasionado por los bajos niveles de almacenamiento de las presas del estado, en porcentajes similares a los del día cero en Ciudad Cabo. Problemática que se aborda con mayor detalle en las próximas páginas de este apartado y que nos brinda la oportunidad de conocer la percepción de los actores y de la sociedad ante la problemática del agua en la que se encuentran.

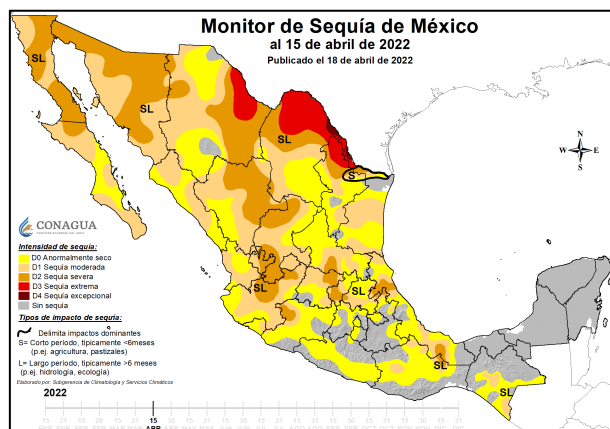
Si elaboramos el mismo ejercicio y confrontamos a las instituciones y actores que inciden en las tomas de decisiones respecto al agua en Monterrey y su ZMM, bien podremos plantear las siguientes interrogantes, ¿Quién o quienes, instituciones o actores, son responsables del estado de incertidumbre hídrica actual?, si se preveía un escenario complicado en cuanto a la disponibilidad del agua para el estado, ¿Por qué no se tomaron otras medidas?, y ¿hasta qué punto, se culpará al consumidor doméstico de la problemática?. Preguntas que este trabajo de investigación no tiene toda la información para contestar, pero que seguramente pueden tener cabida en futuras investigaciones. Además las diferencias y la buena o mala relación del gobierno estatal con el gobierno federal, será un factor que incida en la resolución de la problemática actual, así como la desigualdad que existe en algunas zonas de Monterrey y su ZMM podría generar escenarios de injusticia y un clasismo más exacerbado alrededor del acceso al agua en caso de llegar al día cero.



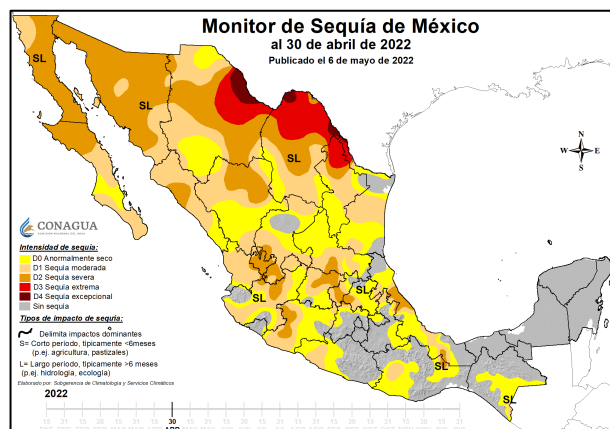
Mapa No. 1 – Monitor de Sequía de México al 15 de marzo del 2022.
Fuente: CONAGUA



Mapa No. 2 – Monitor de Sequía de México al 31 de marzo del 2022
Fuente: CONAGUA



Mapa No. 3 – Monitor de Sequía de México al 15 de abril del 2022
Fuente: CONAGUA



Mapa No. 4 – Monitor de Sequía de México al 30 de abril del 2022
Fuente: CONAGUA

Para este apartado, se realizó un ejercicio de revisión hemerográfica que pretende identificar la percepción y opiniones de las Instituciones que tienen incidencia en la problemática del Agua, como lo son SADM, CONAGUA, Gobierno Federal, Gobierno del Estado, Asociaciones Civiles, y la sociedad misma, con respecto a la complicada situación que vive el estado de Nuevo León, en particular Monterrey y su ZMM en la temporada de estiaje del año 2022. (Mapas 1 al 4). El ejercicio es un resumen que se presenta de forma cronológica de las notas periodísticas recopiladas de medios digitales que abordan la problemática bajo un criterio de búsqueda de “Agua Monterrey” en una temporalidad de 4 meses que abarcan, del mes de enero del 2022 al mes de abril del mismo año.

Cronología de eventos.

Para finales del mes de enero del año 2022 la nota de, Lara (2022), reportaba que el director de Agua y Drenaje de Monterrey, Juan Ignacio Barragán y los representantes del gobierno estatal solicitaron a la Federación activar, ante la sequía y el bajo nivel de las presas del estado, la declaratoria de emergencia, la cual facilita las asignaciones de trabajos de perforación y equipamiento de pozos bajo un esquema de emergencia.

El 2 de febrero, ante el pronóstico de la falta de lluvias para este 2022, las autoridades estatales emitieron una declaratorio de emergencia por sequía. El Gobernador Samuel García, acompañado del director de SADM, dio a conocer las acciones para enfrentar la crisis hídrica: “El tema del agua es un tema de muchos años que gobiernos anteriores no atendieron y hoy estamos pagando las consecuencias”. Según el Gobernador, el personal que operaba anteriormente el SADM era gente “incompetente, corrupta, que nunca se preocupó por el agua”. Para el mandatario no se atendieron las fugas, no hubo mantenimiento ni bombeo en los tanques y en la red; no se explotaron los pozos de los que se tenían facultades para sacar adelante, se retrasaron los pozos de la Macroplaza, además de que la Presa Libertad la dejaron inconclusa a casi menos de la mitad. El plan propuesto por las autoridades incluye la perforación de 22 pozos en la Macroplaza, la rehabilitación de otros 30 existentes, la perforación de 50 nuevos y otros 6 pozos profundos, con lo que se alcanzará 2 mil 674 litros más por segundo de suministro de agua para Monterrey y su ZMM (Aristegui, 2022).

Es para mediados del mes febrero del 2022, que SADM anunció oficialmente lo que ya se rumoraba por más de un año, y es que ante los bajos niveles de almacenamiento en las presas del estado, se tendría que recurrir a cortes programados del servicio en toda la ZMM. (Suárez, 2022).

A principios del mes de marzo del 2022, El Consejo de SADM estableció una tarifa de saneamiento, así como una tarifa ecológica voluntaria para los usuarios que consuman más de 10 metros cúbicos de agua al mes, más un alza escalonada por consumo, a partir del mes de abril. Esto con la finalidad de incidir en la disminución del consumo de agua ante la crisis que enfrenta el estado, y para llevar a cabo inversiones en el mantenimiento de la red de agua potable y de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Medida que no afectará al 56 % de los usuarios. Si la tarifa del consumo de agua es de 15.07 pesos por metro cúbico, se agregan 2.42 pesos por metro cúbico, por concepto de drenaje, y 1.21 pesos por concepto de saneamiento, el nuevo total del costo global del recibo sería de 18.70 pesos por metro cúbico. Para el sector comercial se tiene una tarifa en promedio de 52.73 pesos por metro cúbico, con el incremento de las tarifas de drenaje y saneamiento ahora el total es 72.52 pesos por metro cúbico (Flores, 2022). Además se aprobó el “impuesto de saneamiento” de 7 % , el cual será para modernizar las plantas de tratamiento ante la necesidad de modernizarlas para poder

cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 la cual regula las descargas de aguas residuales (Rodríguez, 2022).

Y es que ante los bajos niveles que presentan las tres presas que abastecen de agua potable la ZMM, el gobierno del estado implementó cortes en el suministro de agua por regiones. Los cortes de agua llegaron de manera oficial el día mundial del agua, el 22 de marzo, pero para algunos pobladores los problemas de disponibilidad de agua empezaron días y semanas atrás. Autoridades de SADM explicaron que ante la problemática que acontece en el estado y los bajos niveles que se presentan en las tres presas, se pondrá en marcha el plan “Agua para todos” (Fig. 7), el cual consiste en la división del área metropolitana en siete zonas en las que una vez a la semana se reducirá la presión del agua, desde las nueve de la mañana por un solo día. Sin embargo, con la implementación del programa, el consumo de agua se incrementó ante recomendaciones de almacenar agua en contenedores, hasta 16,000 litros, niveles de consumo nunca antes visto, según el director de SADM, Juan Ignacio Barragán. Además, esta situación ha generado que los usuarios hagan largas filas para la compra de recipientes para guardar agua, con sobrecostos, además la falta de pipas ha derivado en conflictos para abastecer a las zonas marginadas. El alcalde de Monterrey, Luis Donaldo Colosio Riojas advirtió que “no habrá temporada de albercas en parques públicos para ahorrar agua.” (Expansión, 2022). Así, el 22 de marzo será recordada por los habitantes del estado de Nuevo León como el principio del ‘día cero’, donde se quedaron sin el suministro del servicio de agua por más de 20 horas para poder hacerle frente a la grave sequía por la que atraviesa el estado de Nuevo León (Suárez, 2022).



Fig. 7 Programa de Sectorización “Agua para todos”, Fuente: SADM, 2022

La nota de El Sol de México (2022), el mismo 22 de marzo lanzó la pregunta en su editorial, ¿cuáles son las razones por las que el estado está pasando por esta crisis?, y en respuesta concluyen que “la falta de lluvias provocó que las presas que abastecen la ZMM comenzarán a quedarse sin agua”. Crisis que fue percibida por las autoridades desde el año 2015, ya que a pesar de las lluvias, el agua en las presas no alcanzaba los niveles deseados. Así fue como las alertas de sequía para las presas pasaron a ser graves. Derivado de esta situación, el gobierno estatal hizo un atento llamado a la población de tal manera que el consumo y el cuidado del agua fuera más responsable, ya que parece no existir una conciencia colectiva de ahorro y las personas consumen más agua de la que se abastece. De acuerdo con el titular de SADM, la respuesta de los usuarios no fue la deseada ya que siguen lavando los autos con mangueras o para regar los jardines.

Al igual que Ciudad Cabo en Sudáfrica hace algunos años, la posibilidad del día cero se hizo presente en el estado de Nuevo León, la ciudad de Monterrey y su ZMM tienen reservas de agua para 60 días, mientras que en la Ciudad de México se calculan únicamente reservas para

dos años. Un 60 % del territorio nacional presenta escasez, esto según el profesor investigador del Tecnológico de Monterrey, J. Antonio Benjamín Ordoñez, al hacer un balance hidrológico del país y los riesgos para este 2022. “Aquí hay una corresponsabilidad muy fuerte por que la sociedad civil tenemos que participar para señalar y también para trabajar porque no habrá dinero que alcance para recuperar el entorno” (Becerra, 2022). Asimismo, la presa De La Boca, en Nuevo León, bajó sus niveles por que se perdió toda la cubierta vegetal que arropaba la recarga, señaló el investigador, y que de “nada sirve hacer infraestructuras carísimas con un gasto increíble, sino se entiende que no hay que sobreexplotar los recursos hídricos.”

“Nos fue de lujo, estamos muy contentos, una gran, gran reunión con el presidente Andrés Manuel”. Comentaba el Gobernador Samuel García Sepúlveda, después reunirse con el presidente Andrés Manuel López Obrador el 29 de marzo del 2022. “Vamos a arreglar el tema del agua de una vez por todas para Nuevo León” (UnoTV, 2022). Se anunciaba que se consiguieron los derechos de agua del río Potosí, para abastecer la Presa Libertad y su consumo podrá ser utilizado a la brevedad. Según el Gobernador del Estado, las propuestas para resolver la problemática del agua en un mediano plazo son: terminar la construcción de la Presa Libertad para el año 2025, la cual alcanzó el estatus de ‘proyecto presidencial’, lo que acelerará su proceso de construcción en conjunto con las dependencias federales involucradas. Asimismo, la explotación de cuatro pozos profundos ubicados en las comunidades de Campo Buenos Aires, Camino al Diente, Campo Pajonal y Cerro de la Silla (Casas, 2022)

Para el inicio del mes de abril y después de la reunión del Gobernador del Estado con el Presidente de México, aparecieron reportajes, como el de (Miranda, 2022), donde algunos funcionarios públicos consideran que la problemática no es grave ni catastrófica. Jesús Heriberto Montes, gerente de aguas superficiales e Ingeniería de Ríos de la CONAGUA, sostuvo que la escasez de agua en la ZMM, no es grave ni catastrófica. Según el funcionario la presa de La Boca “apenas aporta el seis por ciento del abasto total de agua en aquella región, mismo que ya fue compensado con pozos subterráneos”. La presa de La Boca tiene capacidad para almacenar 40 millones de metros cúbicos de agua, mientras que la presa el Cuchillo almacena mil millones de metros cúbicos. Se prevé una recuperación de las presas hacia junio, con la próxima temporada de lluvias.

Por otro lado, también a principios del mes de abril, según la nota de Robledo (2022) un grupo de ciudadanos y miembros de 21 organizaciones no gubernamentales demandaron a la CONAGUA el no otorgar, renovar o extender concesiones de agua en las zonas urbanizadas o urbanizables, el llevar a cabo auditorías a las concesiones de pozos particulares y la obligación a conectarse a la red de SADM para que se pague el consumo de agua que realizan. Además, solicitaron transparentar y la entrega de toda la información de las concesiones de agua vigentes en el estado de Nuevo León, que se incluya fecha de vencimiento, si cuenta o no con medidor automático, cuanto pagan en total por el líquido extraído, además solicitaron información sobre aquellas concesiones y usuarios que no cumplen con los requisitos que la ley y que están establecidos en los reglamentos. Igualmente, las organizaciones ciudadanas solicitaron la presentación de un punto de acuerdo ante las autoridades de tal forma que se puedan programar acciones e inversiones necesarias a corto, mediano y largo plazo, que permita resolver el abastecimiento de agua y la gestión integral del líquido de forma transdisciplinariamente, de tal manera que de certeza el conocer y establecer los límites al desarrollo en la región.

El día 5 de abril, el presidente de México, el Lic. Andrés Manuel López Obrador dialogó acerca de la crisis que sufre Monterrey por el abasto de agua en Palacio Nacional con un grupo seleccionado de 20 empresarios de la región noreste. Entre los invitados se encontraba el presidente de la Cámara de la Industria de Transformación (CAINTRA), el director general de Vitro y la vicepresidenta de la empresa Heineken. (Infobae, 2022). Rodrigo Fernández Martínez presidente CAINTRA de Nuevo León, comentó que “hay voluntad política del gobierno de López Obrador y el gobernador Samuel García, para darle una solución a la crisis del agua en Monterrey, por lo que apoyarán y acompañarán en las estrategias para resolver el problema”. Varias empresas usarán sus concesiones de agua para ayudar a resolver el problema de escasez hídrica que sufre Monterrey, aportando más de 20 millones de metros cúbicos de agua potable al año. “La industria de Nuevo León usará más agua tratada en sus procesos, porque desde hace varios años ha bajado en promedio más de 600 milímetros la precipitación anual de agua”, señaló Fernández Martínez (E. Hernández, 2022).

Según la nota de Rivera & Barcenas (2022), la industria en Monterrey dispone de alrededor de 77 millones de metros cúbicos al año, mientras el sector público cuenta con 561 millones y el

sector agrícola mil 100 millones de metros cúbicos, según datos del REPDA. Es decir, solo representa el 4 % del agua subterránea concesionada en el Estado. Sin embargo, en la nota de Robledo (2022), se hace referencia a que cinco empresas embotelladoras de refrescos extraen cuatro veces más el volumen autorizado por la CONAGUA, la empresa Arca Continental, que produce la famosa agua Topo Chico y cuyo consejo de administración está compuesto por al menos 12 personas, varias de ellas pertenecientes a la misma familia, las cuales recibieron concesiones por tres billones 218 millones 209 mil 500 litros anuales, cantidad de agua que podría cubrir el derecho humano al agua de casi 90 mil personas. El estudio de (Talledos et al., 2020) afirma que en México “existen sectores industriales, como mineras, cerveceras, refresqueras y armadoras de autos ligeros que concentran un volumen de 837,245,788.46 m³/año para sus actividades productivas”.

Un consumo irracional per cápita que es dos veces mayor a las recomendaciones internacionales sin duda pone mucha presión sobre la infraestructura del SADM, y sobre la disponibilidad de las fuentes de suministro de la región, se insiste que los esfuerzos deben ir encaminados en generar una cultura de consumo racional y consciente por parte de la población para lograr un futuro sostenible y garantizar el servicio.

El ejercicio realizado hace visible desde un punto de vista muy particular, que el problema del agua en Monterrey atiende a una combinación de factores que sucedieron en un escenario mundial lleno de complicaciones. Primero, si se considera que la pandemia del COVID-19 incrementó hasta en un 30 % el consumo de agua en Monterrey ⁵⁰, esto representó volúmenes de agua que no se habían contemplado en la planeación del SADM, segundo, una temporada de calor y sequía prolongada que sigue afectando al planeta, acompañado de la falta de lluvias, y si se considera además que tanto concesiones agrícolas e industriales de agua en la región se han otorgado en los últimos años, beneficiando solo a unos cuantos. Según CONAGUA hay 64 concesiones de agua que tienen empresas en Monterrey, que equivalen a 1,600 litros de

50

https://www.sadm.gob.mx/SADM/Noticia.jsp?id_html=incrementoconsumo#:~:text=Hasta%20un%2030%25%20se%20ha,los%20contagios%20del%20COVID%2D19 Consultada el 1 de Julio del 2022.

agua por segundo⁵¹. Por lo tanto, ante estos factores, y los ya mencionados anteriormente como la posibilidad de actos de corrupción dentro del SADM, y en gran medida la mala planeación que se considera permea los tres niveles gubernamentales, fueron propicios para generar el complicado escenario que se vive alrededor del agua en Monterrey.

De manera paralela, ante la crisis de agua que se vive en la ciudad de Monterrey y la ZMM, pareciera que un sector de la población no ha escuchado las recomendaciones del Gobierno y de SADM, y que es complicado cambiar el hábito de consumo. Aunque ya hubo un incremento en las tarifas, la información hace visible que eso tampoco ha ayudado, aunque faltaría revisar las estadísticas por municipios y ver si esta medida ha repercutido de manera efectiva en el consumo responsable. Desafortunadamente para el SADM el seguir abasteciendo agua potable se vuelve una tarea titánica y cada vez más complicada. Será interesante identificar en futuras investigaciones si esta experiencia detonó inventivas, soluciones o estrategias para prevenir que se repitan escenarios como este en un futuro.

Hasta el cierre de este apartado, la situación en Monterrey no había cambiado mucho, no se han registrado lluvias con capacidad de recargar las presas, y el consumo por parte de la ciudadanía por momentos disminuye, pero en promedio se mantienen a niveles que, para una situación de emergencia se vuelven preocupantes. (Véase Figuras 8 y 9). Empresas como Ternium y Heineken ya han cedido volúmenes de agua de sus pozos a la red de SADM⁵², y algunas zonas de riego del estado de Nuevo León también han cedido sus derechos de agua.

⁵¹ <https://www.forbes.com.mx/conagua-exhibe-a-empresas-con-concesiones-de-agua-en-monterrey/> consultado el 1 de Julio del 2002

⁵² <https://www.milenio.com/sociedad/ternium-cede-pozos-agua-red-agua-drenaje-monterrey> Consultado 1 de Julio del 2022.



Fig. 8 Comportamiento del Consumo de Agua de la población de Monterrey y la ZMM, Fuentes Twitter, SADM, 2022



Fig. 9 Promedio de consumo semanal de agua en Monterrey y ZMM, Fuente Twitter SADM, 2022

V.- CONCLUSIONES

Después de analizar la información se puede concluir que el Organismo Operador de Agua de Monterrey, SADM, encamina sus esfuerzos hacia lo que se propone como el modelo de Agua 4.0, la innovación le ha permitido transitar a modelos de gestión que se adaptan en medida de sus necesidades de proveer mejores servicios de calidad, quedando de manifiesto que sin importar el crecimiento poblacional desmedido que ha tenido la ZMM de Monterrey, el OOA ha podido mantener y cubrir la demanda de agua solicitada por la población. La implementación de las nuevas tecnologías digitales de la 4RI están presentes en la operación diaria del organismo, herramientas como las tecnologías SCADA para el monitoreo en tiempo real su red de distribución, el procesamiento de imágenes satelitales para la detección de fugas, una gestión inteligente de activos, el uso del Big Data para identificar y priorizar intervenciones, además del procesamiento de la información de casi 1 millón de medidores, junto a las certificaciones de calidad ISO y del estándar Aquarating, aseguran, que aún en condiciones desfavorables de disponibilidad en sus fuentes de suministro, con limitaciones pero se puede seguir brindando el servicio a la mayoría de la población.

Si se considera que los Agentes son los funcionarios públicos encargados de la toma de decisiones, en los diferentes niveles de las entidades gubernamentales, estos no tuvieron la capacidad de actuación y de prevención para atender la problemática que afecta a Monterrey y su ZMM, además queda claro que el OOA falló en su planeación a mediano y largo plazo, y que su programa de cultura del agua, no ha podido transmitir la información adecuada para incentivar un consumo racional del agua, ya que sin importar que se enfrentan a una de las temporadas de sequía más severas de las últimas décadas, el consumo de agua per cápita no ha disminuido de la manera que se esperaría en condiciones de emergencia. Problemática que pudiera volverse más recurrente en los próximos años.

Ahora bien, la hipótesis planteada es:

De incorporarse el modelo de agua 4.0, potenciaría las capacidades humanas, técnicas, tecnológicas, y financieras que el Organismo Operador de Agua SADM ha desarrollado en los últimos años, si se implementan cambios significativos en la forma de compartir y hacer visible los datos y la información generada desde el OOA, con todos los usuarios y agentes vinculados a la problemática del agua en la ZMM, para incidir de manera profunda en acciones y políticas públicas que coadyuven al desarrollo de una mejor

cultura del agua en la sociedad, y a garantizar niveles aceptables de seguridad hídrica a mediano y largo plazo.

Con el análisis cualitativo de la información tanto de las entrevistas, como de la hemerográfica y documental, se comprueba la hipótesis de trabajo, sin embargo, también se detecta que el SADM y el Gobierno del Estado tienen una gran oportunidad ante la adversidad a la que se enfrentan. Si bien la prioridad es asegurar las fuentes de agua para poder brindar el servicio de agua potable, se puede empezar a promover el uso de tecnologías de ahorro de agua convencionales, como las regaderas ahorradoras, la implementación de mingitorios secos, o hasta sanitarios secos, asimismo, la modificación a las leyes de construcción que fomenten el ahorro tanto de agua y energía dentro de los nuevos edificios, además del uso de tinacos para el almacenamiento, de tal manera que los cortes de agua no se perciban como hasta el día de hoy.

Además, la implementación de un mayor número de tecnologías digitales de la 4RI, podrá hacer más eficientes los procesos de gestión y generar datos e información que incidan en la formulación y diseño de las nuevas políticas de la cultura del agua, al mismo tiempo de lograr una corresponsabilidad con los usuarios. Se abre la puerta al uso de la Inteligencia Artificial para modular el consumo energético en las plantas tratadoras y tratar de disminuir los 100 millones de pesos mensuales de consumo eléctrico, para la predicción de escenarios climáticos que permitan una toma de decisiones más acertada así como una mejor planeación en el corto y mediano plazo, además de utilizar las tecnologías del Big Data para analizar una mayor cantidad de lecturas, tuberías inteligentes que permitan anticipar una fuga ante una falla estructural, incrementar la medición de parámetros de calidad del agua en todo el ciclo del agua con el uso del Internet de las cosas, la gestión de activos y la predicción de mantenimientos, y el aprovechamiento del biogás para la generación de energía eléctrica, son solo algunas de las oportunidades detectadas.

Por otro lado, se tiene que hacer visible que la posibilidad de un ciberataque se vuelve una amenaza a la capacidad de operación del OOA, será necesario encaminar esfuerzos para lograr un nivel de seguridad informática que asegure la continuidad de los servicios. Además, se requiere el trabajo en conjunto con los generadores de políticas públicas y la participación de la sociedad informada y responsable, para alcanzar niveles de seguridad hídrica aceptables, ya

que de seguir en el mismo camino, ni con toda la tecnificación alcanzará para proveer agua donde ya no queda nada.

Un futuro más seguro y sostenible del agua significa pasar a la próxima generación de los sistemas de agua, que incluye la adopción de soluciones digitales y las condiciones favorables para que se pueda llevar a cabo su efectiva implementación. Las tecnologías digitales ofrecen un potencial ilimitado para lograr la transformación de los servicios de agua, optimizando operaciones, mejorando el rendimiento y reduciendo la incertidumbre, de tal manera que se vuelven resilientes, innovadores y eficientes, ayudándolos a construir una base más sólida y económicamente viable para el futuro. Esto implica, sortear obstáculos propios de la adopción digital como la integración de sistemas e interoperabilidad, el impacto en los recursos humanos, soluciones financieras sin una propuesta clara de valor, y la ciberseguridad, además de ser necesario remover algunos dogmas de la operación del sector, y que si bien, “así se han hecho las cosas”, puede existir otra manera de hacerlo. Esto, junto a la dificultad de establecer tarifas, la sobreregulación del sector, la entrada en vigor de la NOM-001-SEMARNAT-2021, la brecha generacional y digital y las tarifas eléctricas devenidas de la reforma eléctrica, son solo algunos de los obstáculos adicionales que retrasan o limitan la operación de los OOA en México.

La transformación del sector debe tener presente que las tecnologías solo son el medio para el fin, se debe trabajar para que las tecnologías beneficien a la sociedad. La sinergia que se pueda dar con las innovaciones tecnológicas del sector, además de las digitales será fundamental para seguir asegurando el derecho humano al agua en cantidad y calidad necesaria. Fuera del subsector de servicios públicos de agua y saneamiento, las tecnologías digitales pueden ayudar a un mejor control y medición de las concesiones de agua al sector privado y de riego, a los análisis y predicciones a nivel cuenca, y a una mayor trazabilidad de la gobernanza entre los tres niveles de gobierno.

La generación de información desde los OOA como lo es una base de datos actualizada con los mapas de las redes de distribución y recolección, la calidad del agua que obtienen y de la que se entrega, la cantidad de agua residual que es tratada y la que se devuelve a la naturaleza, el costo de producir un metro cúbico de agua cuando se obtiene de una fuente subterránea y de

una fuente superficial puede llevar a la sociedad a revalorar el agua. Asimismo, los datos estadísticos con valor agregado podrán ayudar a los agentes encargados de la gestión y toma de decisiones al diseño de mejores políticas y programas en beneficio de la sociedad, a prevenir escenarios futuros y sin duda a transformar la gobernanza alrededor del agua. La posibilidad de que se genere contenido que incida a las buenas prácticas de consumo de agua, de la mano de los llamados *influencers* del agua, como estas nuevas formas de abarcar audiencias cautivas de los dispositivos móviles, no se debe de descartar como alternativa de comunicación entre los OOA y los usuarios. Los nuevos indicadores de transparencia para los OOA y la posibilidad de nuevos indicadores tecnológicos serán determinantes en las evaluaciones de las políticas de gobierno abierto y digital.

Esta investigación es solo un primer acercamiento a la discusión del papel de las tecnologías digitales en el sector del agua, y muy en particular en el subsector de agua y saneamiento, e insta a los futuros investigadores al diálogo transdisciplinario entre las diferentes áreas de investigación y a buscar soluciones en conjunto.

5.1 Recomendaciones

Para SADM, apremia mejorar el canal de comunicación con la sociedad y una revisión de la efectividad de su programa de cultura del agua. Se vuelve necesario trabajar en conjunto con las instituciones educativas e incentivar el cuidado y la preocupación por el buen uso del agua desde una edad temprana. Una mayor transparencia proactiva puede beneficiar a incorporar información al contenido que también tendrá que estar dirigido a diferentes sectores y segmentos poblacionales con mayor propensión a adoptar medidas de ahorro, buscando como primer paso tratar de reducir el consumo per cápita de la población de Monterrey, al menos a los 150 litros diarios.

Ejemplos como el de la ciudad de Singapur, abren la puerta a considerar un camino hacia la potabilización de las aguas tratadas, a incorporar desalinizadoras en Tamaulipas y poder llevar el agua hasta la ZMM, es decir, el aprender a vivir en una región donde va a escasear el agua, requiere de soluciones y acciones trascendentales, con mucha voluntad política y social.

En la medida que se adopten más procesos de digitalización en SADM, la cantidad y calidad de información que se genera ira en aumento, y esta podrá ser seleccionada y analizada, permitiendo la mejor toma de decisiones en todas las áreas del ecosistema del OOA, lo que se presume es que se incentive a que la información fluya en un sentido bidireccional en todos los niveles de gobierno, logrando así alcanzar una mejor gobernanza entre gobierno y sociedad.

El desarrollo de ‘startups’ bien puede ir de la mano de un programa de incentivos dirigido y desarrollado por el departamento de innovación y tecnologías del OOA, y así impulsar la creación de tecnología nacional, además de considerar la creación de alianzas estratégicas con las diferentes universidades y consejos empresariales de la región.

La posibilidad de mejorar cualquier proceso dentro un OOA nos lleva a reflexionar que, en el sector agua, y más en el subsector de agua y saneamiento, mientras el ser humano habite el planeta, será imperativo contar con los mejores recursos, tecnológicos, humanos y administrativos para gestionar el único recurso indispensable para subsistir. Y que desafortunadamente, como humanidad, hemos dado por sentado que nunca hará falta.

Sirva este trabajo como una reflexión, ya que se está ante la posibilidad de hacer de manera distinta las cosas, en el sector de agua y saneamiento y no será una tarea fácil de lograr. Si bien estas soluciones no se implementan de la noche a la mañana, la planeación estratégica y la gestión integrada del agua, son y serán fundamentales para la buena implementación de este y otros modelos propuestos en el sector de agua y saneamiento.

VI.- BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, D., Blumensaat, F., Baeza, J. A., Villez, K., Ruano, M. V., Samuelsson, O., & Plana, Q. (2021). Digital Water : The value of meta-data for water resource recovery facilities. *International Water Association*, 15.
- Aguilar-Benitez, I. (2021). Análisis de eficiencia en los servicios del agua en México. *Realidad, Datos y Espacio : Revista Internacional de Estadística y Geografía*, January.
- Aguilar-Benitez, I., & Castro Ruiz, J. L. (2017). Cambio organizacional en los servicios urbanos del agua: los casos de Saltillo, Tijuana y Monterrey. In *Asuntos urbanos en México. Enfoque por estudios de caso* (Issue May).
- Aguilar Barajas, I., & Ramírez Orozco, A. I. (2021). *Agua para Monterrey : Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México* (Segunda Ed). Tecnológico de Monterrey.
- Alabi, M., Telukdarie, A., & van Rensburg, N. J. (2020). Cybersecurity and water utilities: Factors for influencing effective cybersecurity implementation in water sector. *ASEM 41st International Annual Conference Proceedings "Leading Organizations through Uncertain Times," March*, 13.
- Bourdieu, P. (2007). *El sentido práctico*. 1ª ed. Buenos Aires: Siglo XXI Editores
- Brichetti, J. P., Mastronardi, L., Rivas Amiasorho, M. E., Serebrisky, T., & Solís, B. (2021). *La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe : estimación de las necesidades de inversión hasta 2030 para progresar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. BID. <http://www.iadb.org>
- Buenfil Rodríguez, M. Ó., Camacho González, H. D., Galván Benítez, R., & Salgado López, J. A. (2021). Elementos para un índice de transparencia hídrica para organismos operadores de agua y saneamiento en México. *Impluvium, Publicación Digital de La Red Del Agua UNAM*, Septiembre(16), 8–13.
- Camacho González, H. D., & Casados Prior, J. (2017). Regulación de los servicios de agua potable y saneamiento en México. In *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. www.imta.gob.mx
- CEPAL. (2018). Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública. *Cepal*, 2018. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43595/1/S1800429_es.pdf
- CONAPO. (2015). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015* (Issue 2). <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>
- Conejos, P., & Hervás, M. (2020). Caso de éxito : Cómo Valencia ahorró 4Hm3 de agua gracias al Gemelo Digital de GoAigua. *Idrica*.
- Contreras Reyes, R., & Duran de la Cruz, J. C. (2019). Industria 4.0 y su digitalización para enfrentar desafíos globales. In *Innovación tecnológica. Industria 4.0 y tecnología inteligente*. (Primera Ed, Vol. 1, pp. 1–14). Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. www.redibai.org
- Crespo-Elizondo, R., & Ramírez, A. (2018). *Plan Hídrico Nuevo León 2050*.
- Cruz Romero, R. (2017). Gobernanza digital en Costa Rica: un análisis de propuestas para Costa Rica. *E-Ciencias de La Información*, 8(1). <https://doi.org/10.15517/eci.v8i1.29808>
- Daigger, G. T., Voutchkov, N., Lall, U., & Sarni, W. (2019). The Future of Water A collection of essays on “ disruptive ” water sector in the next 10 years. In F. Machado & L. M.

- Mimmi (Eds.), *BID - Water and Sanitation Division* (Issue IDB-DP-657).
- De Stefano, M. (2019). *Transformación digital del agua*. IAgua.
<https://www.iagua.es/blogs/maurizio-stefano/digital-transformation-water>
- Domínguez Serrano, J., & Molina Rodríguez, C. (2020). SAPyS y Tarifas Eléctricas. *Agua y Saneamiento No. 86 Marzo*, 4–7.
- Durán Díaz, H. (2019). A la vanguardia en el monitoreo del Agua. *Agua y Saneamiento No. 85*, 44–45.
- Esteinou Madrid, J. (1995). La nueva cultura del agua. *Semillero*, 3(11), 16–22.
- Ethos. (2022). Ciudades Sostenibles: propuestas para el desarrollo de servicios públicos | Sistemas Urbanos de Agua Potable y Saneamiento 1. *Laboratorio de Políticas Públicas*.
- Giddens, A. (2015[1984]). La consitución de la sociedad: bases para para la teoría de la estructuración. Buenos Aires
- Greggio, E. (2017). *¿Cómo pueden las Tecnologías de la Información y la Comunicación apoyar con éxito la provisión de servicios?*
<https://washmatters.wateraid.org/es/blog/como-pueden-las-tecnologias-de-la-informacion-y-la-comunicacion-apoyar-con-exito-la-provision>
- Grievson, O. (2020). Digital water: the role of instrumentation in digital transformation. *IWA Digital*, 1–19. https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2020/12/IWA_2020_Instrumentation_WEB.pdf
- Hasanbeigi, A. (2020). Uso de tecnologías de la 4RI en agua y saneamiento en América Latina y el Caribe. *El Agua y Saneamiento En América Latina y El Caribe*.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Uso-de-tecnologias-de-la-4RI-en-agua-y-saneamiento-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Hassanzadeh, A., Rasekh, A., Galelli, S., Aghashahi, M., Taormina, R., Ostfeld, A., & Banks, M. K. (2020). A Review of Cybersecurity Incidents in the Water Sector. *Journal of Environmental Engineering*, 146(5), 45. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001686](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001686)
- INEGI, I. (2019). *Panorama Censal de los Organismos Operadores de Agua en México. Año 2019*. 44.
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825173111/702825173111_1.pdf
- Ingildsen, P., & Olsson, G. (2016). Smart Water Utilities: Complexity Made Simple. In *IWA Publishing*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780407586>
- Johns, C., & VanNijnatten, D. (2021). Using indicators to assess transboundary water governance in the Great Lakes and Rio Grande-Bravo regions. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10(July 2020), 100102.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100102>
- Juárez Galindo, I. (2021a). INDRA, un viaje al corazón de la vanguardia tecnológica. *Agua y Saneamiento No.92*, 39–42.
- Juárez Galindo, I. (2021b). La ANEAS y la estrategia para no caer en pánico. *Agua y Saneamiento No.92*, 33–34.
- Kane, G. C., Phillips, A. N., Copulsky, J. R., & Andrus, G. R. (2019). *The Technology Fallacy : How people Are the Real Key to Digital Transformation*. MIT Press.
- Khodadad, M., Sanei, M., Narvaez-Montoya, C., & Aguilar-Barajas, I. (2022). Climatic Hazards and the Associated Impacts on Households' Willingness to Adopt Water-Saving Measures: Evidence from Mexico. *Sustainability*, 14(10), 17.
<https://doi.org/10.3390/su14105817>

- Locken. (2017). *Los pioneros del agua en la historia*.
<https://www.iagua.es/noticias/locken/17/02/08/pioneros-agua-historia>
- Martínez Austria, P. F., Díaz-Delgado, C., & Moeller-Chavez, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería Del Agua*, 23(2), 107.
<https://doi.org/10.4995/ia.2019.10502>
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte Farinha, P. M., & Schulz, A. (2021). Indicadores de desempeño para servicios de saneamiento. In *Indicadores de desempeño para servicios de saneamiento*. Editorial Universitat Politècnica de València.
<https://doi.org/10.4995/ita.2020.6671>
- McKinsey&Company. (2018). Perspectiva de ciberseguridad en México. *Consejo Mexicano de Asuntos Internacionales*, 63. <https://consejomexicano.org/multimedia/1528987628-817.pdf>
- Micheal, A., & Telukdarie, A. (2019). Industry 4.0 : Innovative Solutions for the. *American Society for Engineering Management 2019*, 11.
- Montes de Oca, D. (2022). *¿Qué es un influencer? Definición y uso en tu estrategia de marketing*. <https://www.inboundcycle.com/diccionario-marketing-online/que-es-un-influencer>
- Munguía, R. (2022). *Seminario Virtual 3; Diseño de Validaciones y Pilotos*. Isle Utilities.
<https://www.youtube.com/watch?v=SLP1sjCyECg&t=2674s>
- Mussetta, P. (2009). Participación y gobernanza. El modelo de gobierno del agua en México. *Espacios Públicos*, 12(25), 66–84.
- OCDE. (2015). ¿Cómo Se Define La Gobernanza Del Agua? *Diálogos Por La Sostenibilidad Del Agua En México.*, 4.
- Ortegon Williamson, E. (2022). *Entrevista SADM*.
- Palma Carro, A. J. (2022). *Agua y Saneamiento No.93*. 58.
- Pavez Soto, I., & Sepúlveda Kattan, N. (2019). Concepto de agencia en los estudios de infancia. Una revisión teórica. *Sociedad e Infancias*, 3, 193–210.
- Peters, G. G. (2008). Governance through the Political System: Making and Implementing Policy. *State of Affairs & Conflicting Perspectives in Major Sub-Fields of Political Science*, 1–31. http://paperroom.ipsa.org/papers/paper_4037.pdf
- PUB, S. N. W. A. (2020). Digitalising Water – Sharing Singapore’s Experience. In *IWA Digital Water Book Series* (p. 74). IWA Publishing.
<https://doi.org/10.2166/9781789061871>
- Ramírez, A., & Lugo, C. (2019). *Evaluación de la gobernanza del agua en la Zona Metropolitana de Monterrey*. 76.
- Ramírez, R. (2022). *Entrevista ITESM*.
- Ramos Valdés, M. E., & Carrasco Sánchez, C. A. (2019). Reconversión profesional ante la industria 4.0 en Nuevo León. *Publicación Anual Red de Conocimiento Consejo Nuevo León.*, November, 163–186.
- Rivera, E., & Barcenás, A. (2022). *En la entidad tienen empresas 4% del agua concesionada*. <https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/2022/03/31/en-la-entidad-tienen-empresas-4-del-agua-concesionada/>
- Roberts, L. (2021). *Politics, poverty, and climate change: stories from Cape Town’s “Day Zero.”* <https://odi.org/en/insights/politics-poverty-and-climate-change-stories-from-cape-towns-day-zero/>
- Robledo, R. (2022). *Concesiones de agua en Monterrey, “una ofensa” : 21 colectivos*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/04/05/estados/concesiones-de-agua-en->

- monterrey-una-ofensa-21-colectivos/
- Rojas Ortuste, F. (2010). Gobernabilidad y Gobernanza. De la teoría a la práctica. Aplicación a los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. *Aneas, Octubre*, 1–156.
- Rojas Rueda, A. (2021). El Acuerdo de Escazú y sus implicaciones para el sector hídrico en México. *Perspectivas IMTA*, 2(04), 1–3. <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-04>
- Rojas Silva, H. R. (2022a). *Nadie Aprécia lo que no conoce*. La Fuente. <https://www.estadodemexico.jornada.com.mx/nadie-aprecia-lo-que-no-conoce/>
- Rojas Silva, H. R. (2022b). *Una tarifa eléctrica para el agua*. <https://estadodemexico.jornada.com.mx/una-tarifa-electrica-para-el-agua>
- Said Mazur, S. (2020). Atención a Usuarios, Caso de éxito Nuevo León. *Agua y Saneamiento No. 86 Marzo*, 44–46.
- Salgado López, J. A. (2021). Gobierno abierto y gobernaza del agua: promesas y desafíos. *Perspectivas IMTA*, 40, 1–3. <https://doi.org/doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-40>
- Sánchez, P. (2022). *Marissa Mar: “Una clave para lograr la seguridad hídrica es invertir en educación y comunicación.”* IAgua. <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/marissa-mar-clave-lograr-seguridad-hidrica-es-invertir-educacion-y>
- Sandoval-Almazán, R., Luna-Reyes, L. F., Luna-Reyes, D. E., Gil-García, J. R., Puro-Cid, G., & Picazo-Vela, S. (2017). Building Digital Government Strategies - Principles and Practices. In *Public Administration and Information Technology* (Vol. 16). Springer, Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-60348-3>
- Santes Álvarez, R. V., & Pombo López, O. A. (2013). La gobernación de lo público. El escenario del manejo público-privado del agua en México. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 6(12), 101–129.
- SAPAL. (2021). *Participa Sapal en Open Data Day León 2021*. <https://www.sapal.gob.mx/noticia/622/50>
- Sarni, W. (2021). *Transformación Digital: poniendo a la gente por delante de la tecnología*. <https://blogs.iadb.org/agua/es/transformacion-digital-poniendo-a-la-gente-por-delante-de-la-tecnologia/>
- Sarni, W., Stinson, C., Mung, A., & García, B. (2018). Harnessing the Fourth Industrial Revolution for Water. *Fourth Industrial Revolution for the Earth Series, September*. <https://www.weforum.org/reports/harnessing-the-fourth-industrial-revolution-for-water>
- Sarni, W., White, C., Webb, R., Cross, K., & Glotzbach, R. (2019). Digital Water : Industry leaders chart the transformation journey. In *IWA The Digital Journey*. https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2019/06/IWA_2019_Digital_Water_Report.pdf
- Sedlak, D. L. (2014). *Water 4.0: The Past, Present, and Future of the World’s Most Vital Resource*. Yale University Press.
- Sen, A. (1997). Bienestar, justicia y mercado. Barcelona: Paidós
- Sen, A. (2000). Desarrollo y Libertad. Barcelona: Planeta
- Sossa Azuela, J. H. (2020). El papel de la inteligencia artificial en Industria 4.0. *Inteligencia Artificial y Datos Masivos En Archivos Digitales Sonoros y Audiovisuales*, 21–58. http://ru.iibi.unam.mx/jspui/handle/IIBI_UNAM/89
- Stankovic, M., Hasanbeigi, A., & Neftenov, N. (2020). Uso de tecnologías de la 4RI en agua y saneamiento en América Latina y el Caribe. *El Agua y Saneamiento En América Latina y El Caribe*, 73. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Uso-de-tecnologias-de-la-4RI-en-agua-y-saneamiento-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

- Swinfen Green, J., & Daniels, S. (2020). *Digital Governance, Leading and Thriving in a World of Fast-Changing Technologies*. Routledge.
- Talledos Sánchez, E., Álvarez Becerril, B., Hatch Kuri, G., Rodríguez Sánchez, A., & Velázquez Zapata, J. A. (2020). *Captura política, grandes concentraciones y control de agua en México: Informe agua*. Colegio de Geografía UNAM, 2019. http://ru.atheneadigital.filos.unam.mx/jspui/handle/FFYL_UNAM/2533
- Tapia, J. (2022). *Seminario Virtual 1; Tendencias en el Sector de Agua y Saneamiento 2022*. Isle Utilities. <https://www.youtube.com/watch?v=qJFCM7b1joU>
- Tecnoagua. (2019). La revolución digital en el sector del agua: industria 4.0. *Iagua*, 35°, 2–7. <https://www.iagua.es/noticias/h2orizon/revolucion-digital-sector-agua>
- Tello Leal, E. (2007). Las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y la brecha digital: su impacto en la sociedad de México. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 4(2), 1–8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78011231006>
- Toikka, A. (2011). Governance Theory As a Framework for Empirical Research. In *Social Policy* (Issue March).
- Toro, V. (2020). La Digitalización de la Gestión del Agua No es una opción. *RETEMA*, Enero/Febrero, 10. <https://www.retema.es/articulo/la-digitalizacion-de-la-gestion-del-agua-no-es-una-opcion-4mL2C>
- Torres, F. (2018). *Buscan digitalizar agua para mejorar su uso*. http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=9136:buscan-digitalizar-agua-para-mejorar-su-uso&catid=159:nuevas-tecnologias&Itemid=827
- Valencia Vargas, J. C., Díaz Nigenda, J. J., & Vargas Martínez, L. (2007). La gestión integrada de los recursos hídricos en México: un nuevo paradigma en el manejo del agua. *El Manejo Integral de Cuencas En México*, 2, 213–258.
- Vos, A. de, Maciejewski, K., Bodin, Ö., Norström, A., Schlüter, M., & Tengö, M. (2021). The practice and design of social-ecological systems research. In *The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems* (pp. 47–63). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003021339-4>
- Wall, M. (2013). *Cómo puede la tecnología salvar el agua*. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/08/130731_tecnologia_agua_salvar_dp
- Wang, X. C., & Fu, G. (2021). *Water-Wise Cities and Sustainable Water Systems: Concepts, Technologies, and Applications* (X. C. Wang & G. Fu (eds.)). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789060768>
- Ynzunza Cortés, C., Izarl Landeta, J., Bocarando Chacón, J., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia Tecnológica*, 54. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>

fuentes hemerográficas

- Aristegui, N. (2022). *Perforan 108 pozos en NL para mitigar problema del agua*. <https://aristeguinoticias.com/0902/mexico/perforan-108-pozos-en-nl-para-mitigar-problema-del-agua/> (consultado el 26 de marzo del 2022).
- Badillo, Diego. (2022). Presas de 6 estados, a menos de 40% de su capacidad. Disponible en <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Presas-de-6-estados-a-menos-de-40-de-su->

- [capacidad-20220311-0062.html](#) (consultado el 20 de marzo del 2022).
- Becerra, B. (2022). *Llegó la hora cero por falta de agua en Monterrey y CDMX.* <https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/falta-de-agua-en-monterrey-y-cdmx-llego-la-hora-cero-8038287.html> (consultado el 30 de marzo del 2022).
- Casas, D. (2022). “*Nos fue de lujo*”, Samuel García se reúne con AMLO ante crisis de agua en NL. <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/crisis-de-agua-en-nuevo-leon-gobernador-samuel-garcia-se-reune-con-amlo-8062216.html>
- El Sol de México. (2022). *¿Por qué Monterrey vive una crisis por falta de agua?* <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/falta-de-agua-en-monterrey-estas-son-las-razones-8025964.html> (consultado el 15 de abril del 2022).
- Expansión. (2022). *La escasez de agua en presas de Nuevo León pone en crisis a Monterrey.* <https://politica.expansion.mx/estados/2022/03/23/la-escasez-de-agua-en-presas-de-nuevo-leon-pone-en- crisis-a-monterrey> (consultado el 30 de marzo del 2022).
- Flores, L. (2022). *Monterrey aumentará la tarifa de agua a quien consuma más de 10 metros cúbicos al mes.* <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Monterrey-aumentara-la-tarifa-de-agua-a-quien-consuma-mas-de-10-metros-cubicos-al-mes-20220309-0054.html> (consultado el 22 de marzo del 2022).
- Hernández, E. (2022). *Industriales aportarán 20 millones de metros cúbicos de agua ante crisis hídrica en Monterrey.* <https://www.forbes.com.mx/industriales-aportaran-20-millones-de-metros-cubicos-de-agua-ante- crisis-hidrica-en-monterrey/> (consultado el 15 de abril del 2022).
- Infobae. (2022). *AMLO se reunió con industriales : hablaron de la simplificación fiscal y escasez de agua en Monterrey.* <https://www.infobae.com/america/mexico/2022/04/05/amlo-se-reunio-con-industriales-hablaron-de-la-simplificacion-fiscal-y-escasez-de-agua-en-monterrey/> (consultado el 15 de abril del 2022).
- Lara, J. A. (2022). *Espera Nuevo León apoyo de Federación ante sequía.* <https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/2022/01/24/espera-nuevo-leon-apoyo-de-federacion-ante-sequia/> (consultado el 29 de marzo del 2022).
- Miranda, F. (2022). *Escasez de agua en Monterrey no es grave ni catastrófica: Conagua.* <https://www.milenio.com/politica/escasez-agua-monterrey-grave-catastrofica-conagua> (consultado el 15 de abril del 2022).
- Rivera, E., & Barcenás, A. (2022). *En la entidad tienen empresas 4% del agua concesionada.* <https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/2022/03/31/en-la-entidad-tienen-empresas-4-del-agua-concesionada> (consultado el 15 de abril del 2022).
- Robledo, R. (2022). *Concesiones de agua en Monterrey, “una ofensa”: 21 colectivos.* <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/04/05/estados/concesiones-de-agua-en-monterrey-una-ofensa-21-colectivos/> (consultado el 15 de abril del 2022).
- Rodríguez, A. (2022). *Ponen “contra la pared” a AyD con nueva norma ambiental.* <https://www.elhorizonte.mx/local/ponen-contra-la-pared-a-ayd-con-nueva-norma-ambiental/4065216> (consultado el 20 de abril del 2022).
- Rojas Silva, H. R. (2022a). *Nadie aprecia lo que no conoce.* La Fuente. <https://www.estadodemexico.jornada.com.mx/nadie-aprecia-lo-que-no-conoce/> (consultado el 30 de abril del 2022).
- Rojas Silva, H. R. (2022b). *Una tarifa eléctrica para el agua.* <https://estadodemexico.jornada.com.mx/una-tarifa-electrica-para-el-agua> (consultado el 1 de mayo del 2022).

- Suárez, E. (2022). *Llegó el día cero*. <https://www.horaceronl.com/reportaje/llego-el-dia-cero/> (consultado el 30 de marzo del 2022).
- UnoTV. (2022). *Río Potosí surtirá de agua a Monterrey; ve qué municipios tienen corte el 8 de abril en Nuevo León*. <https://www.unotv.com/estados/nuevo-leon/corte-de-agua-8-de-abril-2022-en-nuevo-leon-rio-potosi-surtira-a-monterrey/> (consultado el 16 de abril del 2022).
- Zamudio, A. (2021). *Hackean servidores del Ayuntamiento de Morelia y piden pago en bitcoins por datos encriptados*. <https://www.debate.com.mx/estados/Hackean-servidores-del-Ayuntamiento-de-Morelia-y-piden-pago-en-bitcoins-por-datos-encriptados-20210824-0228.html> (consultado el 5 de mayo del 2022).

Relación de Entrevistas

- Hernández, Clelia. (2022). *Entrevista Nuevo León 4.0*. Realizada el 28 de Enero del 2022.
- Monterde, Nicolas. (2022). *Entrevista Idrica*. Realizada el 16 de Febrero del 2022.
- Martinez, Ricardo. (2022). *Entrevista ITESM* Realizada el 3 de Febrero del 2022.
- Ortegon Williamson, E. (2022). *Entrevista SADM*. Realizada el 16 de Febrero del 2022
- Rojas, H. R. (2021). *Entrevista ANEAS*. Realizada el 13 de Diciembre del 2021
- Sandoval, R. (2021). *Entrevista Ex-BID*. Realizada el 25 de Noviembre del 2021
- Valladares, R. (2022). *Entrevista Isle Utilities*. Realizada el 22 de Febrero del 2022

Última página

El autor es Ingeniero Electrónico egresado en el año 2000, del Instituto Tecnológico de Morelia, (ahora Tecnológico Nacional de México). Se desempeñó como Director Administrativo de la Empresa Global de Morelia, S.A de CV. en el sector de tecnologías computacionales y de la información en el estado de Michoacán. Egresado de la Maestría en Gestión Integral del Agua por el Colegio de la Frontera Norte con sede en Monterrey, Nuevo León.

Correo electrónico: fco_hdez@yahoo.com

© Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.

Forma de citar:

Hernández Díaz, Francisco Eduardo (2022). “La experiencia de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM): Hacia un modelo de Agua 4.0”. Tesis de Maestría en Gestión Integral del Agua. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México. 104 pp.