

Población y resiliencia hídrica

Rodrigo Meza Cabrera¹

Laura Myriam Franco Sánchez²

Resumen

Las transformaciones en su esencia han sido el motivo de que las especies en su generalidad se adapten a nuevas circunstancias, es el origen de la evolución, muchas veces estos cambios son ajenos a la naturaleza de cualquier especie, sin embargo, para la población humana el cambio climático no es la excepción. Desde la Revolución Industrial se ha llevado un registro de como los procesos humanos inherentes a las actividades propias de la especie, han jugado un papel determinante en la alteración de los ecosistemas y en consecuencia y a gran escala, en el cambio climático. La preocupación colectiva de una gran parte de los países alrededor del mundo se hizo evidente en diversas instancias de las Naciones Unidas hace menos de un siglo, no obstante, los esfuerzos para alcanzar un equilibrio no han sido tangibles y es posible que se requiera un enfoque diferente y multidisciplinario para alcanzar un estado de sostenibilidad en la gestión de los recursos para la subsistencia humana.

En este documento se abre la discusión acerca de cómo las poblaciones han sido participes de los escasos del agua consecuencia del cambio climático, llegando a convertirse en una resiliencia hídrica importante a todas las escalas.

Conceptos clave: Población, cambio climático, resiliencia hídrica.

El crecimiento poblacional

El cambio climático es uno de los problemas más críticos de la actualidad. En términos generales, el calentamiento global representa una de las principales amenazas contra los recursos hídricos del planeta. Aunque la actividad humana y el calentamiento del planeta siempre convergen al mismo vínculo (NASA, 2020), la relación entre el crecimiento de la población y el cambio climático merece especial atención en cuanto a las repercusiones que esta tiene a nivel social y ecológico. El crecimiento de la población conlleva el aumento del consumo de recursos, con lo cual incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero modificando el clima; esto hace que se agoten los recursos y se exponga a la población a diversos riesgos meteorológicos.

En las últimas décadas, han surgido diferentes enfoques que tienen el propósito de fortalecer la adaptación de las poblaciones respecto al cambio climático, la alteración de los ecosistemas y el cambio en la disponibilidad de los recursos necesarios para la subsistencia humana, la resiliencia climática, desarrollando mecanismos y técnicas con los cuales las

¹ Rodrigo Meza Cabrera. Licenciado en Mercadotecnia por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y actual maestrante en Estudios de Población por la misma universidad. me139799@uaeh.edu.mx

² Laura Myriam Franco Sánchez. Licenciada en Económica, Maestra en Estudios de Población y Doctora en Urbanismo. Es profesora investigadora del Área Académica de Sociología y Demografía de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI I). Línea de investigación: migración. lfranco@uaeh.edu.mx

personas puedan enfrentarse a estos cambios (Guzmán, 2009). Sin embargo, el cambio climático está íntimamente relacionado con el crecimiento de la población, tal como lo afirma la organización británica Population Matters (2018): “Cada persona adicional aumenta las emisiones de carbono y aumenta el número de víctimas del cambio climático”. Además, los estilos de vida y las prácticas de producción derivadas del alto consumo dan como resultado una mayor tasa de emisiones en países de primer mundo, en contraste con el resto de los países donde vive la mayoría de la población mundial. Es decir, a pesar de contribuir muy poco a las emisiones globales, las personas que viven en las regiones más pobres del mundo son las que están en posición de soportar la peor parte de los impactos que trae consigo el cambio climático.

En México no estamos exentos de estas afectaciones, pues los altos índices de pobreza y la desigualdad social dejando a muchas poblaciones de bajos ingresos vulnerables a los extremos cambios climáticos y estrés hídrico, una condición en donde la demanda del agua por parte de la población rebaza la disponibilidad para cubrir las necesidades. Dicha vulnerabilidad se ve afectada por factores como la urbanización, el uso del suelo, la infraestructura y el acceso al capital, a esta educación podemos añadir la variable del cambio climático y el acelerado crecimiento de la población a las regiones que ya enfrentan pobreza y desigualdades, representa, en suma, un problema que sólo seguirá empeorando si no se le da la debida atención. La tensión demográfica debilita la seguridad alimentaria, la salud humana y la conservación de los recursos naturales, en este caso, los recursos hídricos.

Dentro de una escala internacional, la gran mayoría de las estrategias implementadas para combatir el cambio climático reconocen el rápido crecimiento de la población como un factor clave que empeora la vulnerabilidad climática (Hardee y Mutunga, 2018). Sin embargo, el desarrollo urbano trae como consecuencia mayores emisiones de gases de efecto invernadero, en especial el dióxido de carbono, debido a que la expansión urbana da como resultado un mayor uso de energía de todo tipo. No obstante, las organizaciones internacionales que buscan frenar los gases antropogénicos del cambio climático no tienen por objetivo cambiar los paisajes urbanos existentes, muchas veces descontrolados.

Como tal, no existe una medida correctiva específica que proponer, más bien se trata de apoyar un crecimiento demográfico y económico más sostenible, partiendo de un enfoque local en lugar de uno global y teniendo en cuenta que el crecimiento no puede ser infinito en un mundo con recursos finitos. Como declaró el economista Kenneth Boulding: “cualquiera que crea que el crecimiento exponencial puede durar para siempre en un mundo finito es un loco”. Sin embargo, la búsqueda del crecimiento económico ha sido el objetivo político predominante en todo el mundo durante los últimos 70 años, lo cual resalta la conexión entre la población, el crecimiento económico y la demanda de agua, los recursos y la contaminación, que en última instancia provocan la escasez de los recursos y la relevancia de estos aspectos en una perspectiva local más que global, para estimular una urgente e integral acción.

Cambio climático

El cambio climático representa la mayor preocupación ambiental para la vida en el planeta. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se conceptualizó el cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o

indirectamente a la actividad humana y que altera la composición atmosférica global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (Naciones Unidas, 1992).

Por su parte, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2013) definió al cambio climático como “la variación del estado del clima identificable en las mediciones del valor medio de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo”. Accediendo a la definición de varios autores, se observa que existe un debate en la terminología del cambio climático, denominándolo de diferentes maneras; en este documento se toma en cuenta el término de cambio climático.

Numerosos estudios coinciden que, si no se aborda la crisis climática, existirán regiones consideradas demasiado calurosas para la supervivencia humana. Sin duda, los más afectados serán los que no han sido responsables de las emisiones de gases, pero que al mismo tiempo soportan la carga desproporcionada de un sistema corrupto y contaminante. Gran parte del calentamiento global es atribuible a las actividades humanas, la explosión demográfica aumenta las emisiones a través de la quema de combustibles fósiles, el aumento de la extracción de materiales, la deforestación, la agricultura industrial y otros procesos de fabricación; es imperante optar por políticas que reduzcan tales emisiones y desarrollen la resiliencia ante un clima cambiante. Si bien los individuos forman parte de la solución o mitigación del cambio climático, las corporaciones y los gobiernos son quienes deben tomar la iniciativa para lograr que los estilos de vida sustentables estén al alcance de sus poblaciones.

En la Conferencia de las Partes (COP 21, 2015) se comprometió a los países participantes a presentar estrategias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el acuerdo, se mantiene como principal objetivo preservar el aumento de la temperatura promedio mundial por debajo de 2°C en relación a los niveles preindustriales, hasta limitar dicho aumento a la temperatura promedio de 1.5°C en relación a los niveles preindustriales. Estas cifras, sin duda alguna, reducirían el impacto que conllevan las repercusiones del cambio climático. Cabe mencionar que también se propuso incrementar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, de manera que se promueva la resiliencia hídrica.

De igual forma, en la Cumbre para el Desarrollo Sostenible (WSSD, 2015) se acordaron 17 metas que buscan direccionar a los países, desde diferentes sectores, hacia el desarrollo sostenible. Para la Agenda 2030, destacan 3 metas que hablan sobre el suministro de agua y su saneamiento, promoviendo que los asentamientos humanos sean resilientes y sostenibles; también, se adoptaron medidas urgentes para enfrentar el cambio climático y sus repercusiones (ONU, 2015a).

Para México, el cambio climático vislumbra riesgos para los sistemas sociales y ecológicos, según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2014). Dicho reporte, muestra datos relevantes sobre los impactos y consecuencias del cambio climático para megaciudades como la CDMX, pronosticando la intensidad de los eventos climáticos extremos que podrían ocasionar severas inundaciones, sequías y olas de calor (Soto y Herrera, 2009). Para el centro del país, se han proyectado dos escenarios, uno a corto plazo (año 2030) y otro a mediano plazo (año 2050). Durante los meses fríos, se señala un aumento de la temperatura media entre 0.5°C y 1.25°C a corto plazo y hasta 2°C en el mediano plazo.

Para los meses cálidos, se prevé un aumento de 1.25°C a 1.5°C a corto plazo y hasta 2.25°C en el mediano plazo (Soto y Herrera, 2009). Estudios previos también señalan que el incremento de la temperatura es especialmente importante a partir de la década de los setenta, según la evaluación de diferentes indicadores en el hemisferio norte como la variación de la temperatura, el nivel del mar y el deshielo; los resultados confirman la vulnerabilidad de México ante el cambio climático (Soto y Herrera, 2009).

Por su parte, el director de resiliencia de la Ciudad de México, Arnoldo Kramer, argumento en el *The New York Times*: “El cambio climático se ha convertido en la mayor amenaza a largo plazo para el futuro de esta ciudad, y eso se debe a que está relacionado con el agua, la salud, la contaminación del aire, la interrupción del tráfico por inundaciones, la vulnerabilidad de la vivienda a los deslizamientos de tierra, lo que significa que no podemos comenzar a abordar ninguno de los problemas reales de la ciudad sin enfrentar el problema climático”. Se asume que lo mismo es cierto para el resto de la nación y el mundo.

El cambio climático toca todos los aspectos de nuestras vidas, por lo que al menos se identifican tres formas principales en que el cambio climático ya está afectando a México: (climaterealityproject, 2018)

- a) Desde la década de 1960, México se ha vuelto más cálido. Los científicos esperan que las temperaturas sigan elevándose. De hecho, para finales de este siglo, el norte de México podría aumentar su temperatura media anual entre 3°C y 4°C. Unos pocos grados pueden no parecer gran cosa, pero la diferencia entre 0°C y 1°C es la misma que existe entre el hielo y el agua. Un pequeño cambio de temperatura realmente puede perturbar los sistemas de los que dependemos para sobrevivir.
- b) La inseguridad hídrica también significa inseguridad alimentaria. En 2011, México tuvo lo que se describió como su peor sequía registrada. A medida que los humanos liberan más y más emisiones de gases de efecto invernadero en el aire, atrapan más y más calor, lo que significa que la temperatura del aire aumenta. Como aumenta la temperatura del aire, se evapora más humedad de la tierra y los lagos, ríos y otros cuerpos de agua. Las temperaturas más cálidas también aumentan la evaporación en el suelo, lo que afecta la vida de las plantas y esto puede reducir aún más las precipitaciones.
- c) El cambio climático está causando que la tierra de México sea mucho menos adecuada para el cultivo, a corto plazo, éste podría conducir a una disminución del 40% al 70% en la idoneidad actual de las tierras de cultivo de México para 2030. La pérdida de tierras de cultivo puede significar poblaciones desnutridas, desplazamientos y, en última instancia, la migración permanente, especialmente de familias rurales.

A medida que México y en general, el mundo entero se vuelve más cálido, las huellas del cambio climático se pueden ver en todas partes. Los científicos del clima observan sus efectos en diversos ámbitos como el aumento del nivel del mar, temporadas de incendios forestales más largas e intensas y sequías devastadoras, por nombrar algunos. Y lo que es más importante desde una perspectiva antropocéntrica, la gente experimenta los efectos.

Es importante resaltar otros estudios de carácter nacional que se han realizado sobre el cambio climático. Por ejemplo, a partir de los resultados obtenidos de un estudio cuyo

propósito fue evaluar los efectos probables que el cambio climático puede causar en los recursos hídricos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se deduce que la demanda de agua aumentará como consecuencia del incremento de la temperatura promedio, señalando que la creciente demanda traerá consigo nuevos costes derivados de nueva infraestructura (Soto y Herrera, 2009).

Otro estudio realizado fue el de PNUMA y GEF (2019) en donde a partir de un análisis integral se diagnosticaron los riesgos actuales ante sucesos naturales, tales como derrumbes, inundaciones, deslizamientos, sequías, etc., además de identificar la sensibilidad socioeconómica y ecosistémica. También, identificaron la capacidad de reacción y adaptación para determinar la vulnerabilidad ante el cambio climático. Sugieren que el objetivo más inmediato sea la adaptación a las amenazas actuales.

Por otra parte, Delgado (2014), en su estudio refleja que existe un gasto energético importante en la transportación y gestión del agua, de tal forma que sugiere una mejor planificación y uso de energías alternativas para su funcionamiento; además, señala que las aguas residuales no son tratadas dentro del territorio de la CDMX, por lo que se necesita tomar acciones en ese aspecto. Finalmente, añade la convicción de que los nuevos ideales para el manejo sostenible y resiliente del agua debe acompañarse de todas las instituciones, tanto civiles como gubernamentales.

A mediados de julio del 2022 la sequía en muchas partes de México, especialmente en la zona norte, ha llevado al gobierno a implementar nubes con yoduro de plata durante los próximos tres meses en los estados agrícolas de Sinaloa, Sonora y Chihuahua en un intento por inducir la lluvia con la ayuda de aviones de la fuerza aérea especialmente equipados, según un comunicado del ministerio de agricultura.

Puede resultar difícil para los científicos atribuir un solo evento al cambio climático, pero las sequías más extremas apuntan a un aumento de las temperaturas globales que, según los investigadores, se debe a las emisiones de gases de efecto invernadero. El calor extrae la humedad del suelo, pero cuando la región ya es muy seca como la parte occidental de México, y la temperatura aumenta, se pierde agua tan solo por la evaporación.

Respecto a un caso particular, la Ciudad de México, es relevante mencionar otra realidad, desconocida en parte escala global. La entrada y salida de agua es lo que define a la Ciudad de México, una metrópolis que se extiende sobre tres lechos de lagos secos. La ciudad se inunda en la estación húmeda y sufre de escasez de agua durante las sequías regulares. La CDMX, como la propia ciudad de los 21 millones de habitantes, bombea más agua del acuífero debajo de ella de la que repone: la ciudad se hundió unos 12 metros en el siglo pasado y puede hundirse otros 30 metros antes de tocar fondo. La tierra más seca también pone a los edificios en mayor riesgo de sufrir daños por terremotos. Incluso, muchos residentes de la Ciudad de México no pueden confiar en distribución de agua existente en sus hogares ante la existencia de una incertidumbre constante. Cabe señalarse que, en el año 2020, la ciudad gastó más de \$4 millones en camiones de agua y los residentes gastaron alrededor de \$187 millones en agua embotellada. Los científicos predicen que el cambio climático exacerbará estos problemas.

Los residentes de la CDMX se están haciendo cargo del agua, y de su futuro climático, en una variedad de formas que prometen impulsar el equilibrio hídrico de la ciudad y tal vez

promover el acceso equitativo al agua potable segura mediante el impulso de las estrategias de resiliencia.

Panorama actual del estrés hídrico

La demanda de agua no puede exceder la disponibilidad de la misma. Si bien esta ha ido en constante aumento, la disponibilidad de agua se reduce debido a la disminución de los recursos y la contaminación de los mantos acuíferos. Por tanto, se pronostica que los recursos hídricos superficiales disponibles se mantendrán casi constantes a nivel continental, aunque la calidad se deteriorará y la distribución espacial y temporal cambiará ^[9]. Lo más probable es que los mantos acuíferos se reduzcan y la intrusión de sal en las zonas costeras sea muy dramática. En contraste, el crecimiento de la población, el producto interno bruto (PIB) y la demanda de agua aumentarán a nivel mundial y de manera desigual. Muchos países ya están experimentando condiciones de escasez de agua; otros más, enfrentarán una disponibilidad reducida de recursos hídricos superficiales para 2050 (PNUMA y GEF, 2019).

Diferentes fuentes antropogénicas como la explosión demográfica y la desigualdad, entre otras, son causa de las condiciones actuales del agua, pero al mismo tiempo son afectadas por la escasez de agua en el planeta. Una gran cantidad de problemas hídricos están estrechamente relacionados con el cambio climático, lo cual deriva en dificultades colaterales. Generalmente, los problemas del agua relacionados con el cambio climático ocasionan que los ecosistemas se modifiquen, lo cual representa un grave problema para la vida y el desarrollo de sistemas sociales y ecológicos.

En este sentido, los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos son de gran magnitud y dependen mucho de la ubicación geográfica de la región; es ineludible que el clima y el ciclo hidrológico estén estrechamente relacionados. Comúnmente, suelen presentarse importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasiona un incremento en las condiciones de escasez.

Aunque la falta de agua potable limpia es la amenaza más inmediata para la salud humana, la escasez de agua dulce puede tener repercusiones de largo alcance. Por ejemplo, los caudales reducidos en ríos pueden aumentar la concentración de contaminantes, pues cuando estas vías fluviales se secan, la fauna del medio podría buscar agua potable donde vive la gente; además, esta sequía puede incrementar también el riesgo de incendios forestales en la región.

Otras consecuencias que no puede quedar en la omisión, es la propagación de enfermedades debida a la insuficiencia de agua para el saneamiento y el lavado de manos, de igual manera, la contaminación de los cultivos cuando la tierra se compacta debido a la sequía, impidiendo que el agua se filtre y penetre el suelo (Delgado, 2014). La realidad demuestra que no todas las comunidades están preparadas para responder ante las consecuencias climáticas que las afectan.

Recientemente, en un debate del Consejo de Seguridad de la ONU, Sir David Attenborough advirtió que: “si continuamos por el camino actual, nos enfrentaremos al colapso de todo lo que nos da seguridad: la producción de alimentos, el acceso al agua dulce,

la temperatura ambiente habitable y las cadenas alimentarias oceánicas” (IPPC, 2014), bajo el panorama actual, es inminente.

La creciente comprensión de la relación entre el cambio climático y la escasez de agua también se refleja en las resoluciones del Consejo de Seguridad de la ONU. Por lo tanto, se identifica la crisis del agua como uno de los principales riesgos globales de las próximas décadas. Desde el año 2015, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2015) advirtió que el cambio climático reduciría los recursos renovables de agua superficial y subterránea, lo que representaría la competencia por el agua desde todos los sectores, por lo cual se vería afectada la seguridad hídrica, energética y alimentaria.

Un informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (WWDR, 2018) ha revelado una actualización sobre las tendencias actuales de la disponibilidad de agua limpia y las expectativas futuras. La seguridad del agua, la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua y con calidad aceptable, ya está en riesgo para muchos, pronosticando que la situación empeorará en las próximas décadas. La escasez de agua limpia es un problema importante en la actualidad. La presión sobre el sistema de agua aumentará para 2050, cuando la población mundial alcance entre 9,400 y 10,200 millones, un aumento del 22 al 34 %. La tensión se verá agravada por el crecimiento desigual de la población en diferentes áreas no relacionadas con los recursos locales.

Poco a poco, presenciamos cómo estas advertencias globales se hacen realidad. Según el estado del clima 2021 de la Organización Meteorológica Mundial, desde el año 2000 los desastres relacionados con inundaciones han aumentado en un 134% y la frecuencia y duración de las sequías también se incrementó casi en un 30% (Wada et al, 2016).

El suministro de agua es un elemento fundamental de cualquier sistema social y ecológico; sin embargo, estos sistemas se han visto afectados debido a que las precipitaciones están cambiando en magnitud y frecuencia. Al mismo tiempo, la demanda de agua está aumentando como consecuencia de la explosión demográfica y la demanda de riego agrícola y otros sectores. Debido a este contexto, es importante tener en cuenta el equilibrio entre la disponibilidad y la demanda de agua para estimar la escasez de agua en escenarios futuros de cambio climático. En México, existen parámetros como indicadores de la demanda actual de agua. Por ejemplo, uno de estos indicadores es el volumen recomendado de agua autorizado para uso público por parte del gobierno (UNAM, 2018).

De acuerdo a la demanda mundial de agua, el consumo de agua per-cápita de México está por arriba del promedio internacional, considerándose como un país que importa agua (Garthwaite, 2016) Asimismo, las características geográficas de México incrementan su vulnerabilidad al cambio climático debido a una mayor sensibilidad ante los eventos climáticos extremos. La demanda actual de agua en México ha ocasionado que el 40% de los mantos acuíferos este sobreexplotado (UNAM, 2018).

Una menor precipitación bajo escenarios de cambio climático contribuirá a la escasez de agua en el futuro cercano, la demanda de agua es evidente debido al crecimiento de las ciudades del centro México, principalmente. De igual manera, la elevada heterogeneidad del territorio mexicano genera un uso de suelo diverso, así como diferentes niveles de exposición

a eventos climáticos extremos. Esto parece explicar cómo la necesidad de agua excede la disponibilidad de la misma debido a una falta de correspondencia espacial.

Los problemas sobre la escasez de agua, la demanda de agua, los recursos hídricos y la contaminación del agua están fuertemente relacionados con el crecimiento de la población y el crecimiento económico, estando fuertemente interconectados y dramáticamente variables en el espacio y tiempo. A medida que aumenta la demanda de agua limpia y se reduce la disponibilidad de esta, con situaciones locales mucho peores que las globales, la demanda de agua limpia eventualmente excederá la disponibilidad de agua limpia en algunos niveles locales mucho antes que a nivel global. Estos puntos de ruptura pueden ocurrir antes de 2050 en muchas áreas del mundo. Teniendo en cuenta que cuando un recurso vital escasea, la gente luchará por él, es muy probable que el suministro de agua para 2050 se juegue en un contexto social de competencia y probablemente conflicto si no se hace nada para prevenir una crisis del agua.

Estrategia resiliente como paradigma de la gestión hídrica

Las interrupciones del suministro de agua pueden tener efectos devastadores en una población, desde la pérdida de fuentes económicas hasta la pérdida de vidas. Existen numerosas causas para las interrupciones del suministro de agua, las cuales van desde una infraestructura obsoleta hasta los eventos climáticos actuales. Comprender estos potenciales hechos podría ser de gran utilidad en las empresas y las comunidades para estar más preparados ante cualquier emergencia.

Las comunidades de todo el mundo se enfrentan a crecientes riesgos de seguridad hídrica, y cada vez más es evidente que los paradigmas convencionales de gestión de los recursos hídricos ya no están lo suficientemente equipados para responder a eventualidades o incertidumbres del ciclo hidrológico. Desde el año 2015, el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos señaló que la mayoría de los sistemas hídricos actuales no son resistentes a los riesgos crecientes, siendo incapaces de cubrir todos los servicios.

Por lo que, considerando los múltiples desafíos, diferentes organismos han resaltado la necesidad de transformar los paradigmas de gestión actuales de los recursos hídricos hacia las estrategias de resiliencia (Donat, et al., 2016). Se concluye que se necesita la transformación para incrementar y mejorar la capacidad de los sistemas de agua para hacer frente a la imprevisibilidad hidrológica y mejorar su conectividad, es decir, aumentar la resiliencia hídrica a los estresores emergentes.

No obstante, el empoderamiento de la resiliencia como cualidad en los sistemas hídricos aún no se comprende del todo, en parte, debido a la escasa orientación tanto práctica como teórica. Un elemento importante del presente desafío se basa en el hecho de que los sistemas hídricos son complejos por sí mismos, es decir, están fragmentados en sectores desconectados como, por ejemplo, la gestión del suministro y la demanda, así como la gestión de aguas pluviales o residuales. Igualmente, el diseño de los sistemas hídricos alrededor del mundo está complementado en legados de infraestructura y paradigmas de diseño que desde tiempos remotos han sido inflexibles y lentos para adaptarse al cambio (Mekomen et al., 2016 y Bravo-Cadena et al., 2021)

Ordinariamente, la resiliencia se entiende como la capacidad de los sistemas para resistir o hacer frente a los factores estresantes, pero que continúan manteniendo sus funciones o estructura. Sin embargo, existen algunos aspectos que representan todavía grandes desafíos para operacionalizar la resiliencia en diferentes contextos, como en el caso de los sistemas hídricos, en donde se atribuyen varias definiciones de resiliencia como, por ejemplo: la resiliencia ingenieril, ecológica, urbana, etc. La utilización de diferentes conceptos de resiliencia deriva en nociones muy diferentes de qué sistemas podrían ser resilientes y cómo (Rockström et al., 2014b). En general, el entendimiento de resiliencia hídrica se ha aplicado de manera irregular, esforzándose en una convergencia teórica o empírica en base a otras definiciones equiparables o características de los sistemas hídricos.

Independientemente de los debates conceptuales o metodológicos, existe una orientación compartida sobre qué prácticas de gestión hídrica y gobernanza pueden incrementar la resiliencia en los sistemas hídricos, de las cuales se consideran aquellas formas que son integradoras (Bravo-Cadena et al., 2021). La resiliencia hídrica es un término que se utiliza cada vez más en relación con los sistemas sociales, específicamente en el contexto de la gestión y la gobernanza. Por su parte, el concepto de gobernanza hace referencia al conjunto de prácticas y arreglos institucionales para la gestión del agua. En otras palabras, la gobernanza del agua se define también como todo proceso político y administrativo a través del cual las comunidades articulan sus intereses y se toman e implementan decisiones, esto último es lo que hace operativa la resiliencia hídrica (Ferguson et al., 2013).

Respecto a la gobernanza del agua, se ha argumentado que una gobernanza policéntrica es necesaria para sostener e incrementar la resiliencia hídrica, pues ésta implica alejarse de la gobernanza del agua jerárquica (de arriba hacia abajo) generalmente dirigida por el estado, para involucrar a más personas de la sociedad civil y entidades locales de gobernanza que compartan autoridad y responsabilidad en la gestión del agua (Brown et al., 2013). Se asume que dichos centros de autoridad independientes pero coordinados son más capaces de responder a las eventualidades ambientales en la escala en la que ocurren.

Actualmente, existe un debate sobre las ventajas y desventajas de las formas centralizadas y descentralizadas en el sector hídrico. Los estudiosos sobre las estrategias de resiliencia argumentan que, para mejorar la resiliencia y la capacidad transformadora de los sistemas hídricos urbanos, se necesita una combinación de formas de gobernanza tanto centralizadas como descentralizadas, incluyendo la participación de instituciones formales y no formales (Bell et al., 2017 y Rodina, 2019).

Además de todo lo mencionado, se añaden las características de flexibilidad y diversidad para fomentar la resiliencia ante los pronósticos inciertos y variables del agua. Esta parte involucra la utilización múltiple y diversa de diferentes fuentes de agua, por ejemplo, superficial o subterránea, así como la recuperación y el reciclaje de la misma para finalidades no potables involucrando temas de saneamiento.

Por tanto, en el contexto de la gestión de los recursos naturales, se han propuesto como estrategias para mejorar la resiliencia la flexibilidad y la diversidad de las opciones porque permiten que el sistema responda al cambio de manera adaptativa. Mientras tanto, en el contexto de la infraestructura, se orienta el diseño hacia una infraestructura verde, la cual consiste en la implementación los sistemas de drenaje sostenibles. Este tipo de drenajes

son formas innovadoras de gestionar las aguas fluviales urbanas, pero con numerosos beneficios que van desde la modulación del agua descargada hasta la formación de superficies permeables o humedales.

Como puede apreciarse, el gran número de propuestas que se reúnen de los diferentes enfoques y equipos de trabajo sobre la resiliencia tienden a ser muy variados. Esto podría tener la desventaja de conducir a una falta de claridad y orientación sobre qué prácticas y acciones realmente pueden incrementar la resiliencia de los sistemas hídricos (Ferguson et al., 2013). Algunos autores, incluso, han optado por enfoques integrales y holísticos que pretenden abarcar la gran mayoría de las situaciones interdependientes y complejas que van desde el crecimiento poblacional hasta la contaminación (Bakker y Cameron, 2005).

En 2019, con la finalidad de investigar las estrategias de resiliencia más sobresalientes para la gestión de los recursos hídricos, se realizó una encuesta de escala global donde se solicitó a los participantes especialistas en el tema, que evaluaran una serie de estrategias de gestión y gobernanza de los recursos hídricos identificadas como potencialmente importantes para incrementar la resiliencia (Rijke et al., 2013). Las estrategias se agruparon en cuatro categorías, para aumentar la resiliencia en: 1) el sector del agua, 2) ante sequías, 3) ante inundaciones y 4) en sistemas de agua dulce. Además, se contempló la conceptualización de la resiliencia, por lo que se tomaron en cuenta tres definiciones convencionales pero distintivas. De tales definiciones, los participantes optaron por la definición de la resiliencia comunitaria, es decir, la capacidad de las comunidades o la sociedad para hacer frente, adaptarse o transformarse ante el cambio.

Los datos de la encuesta sugieren que la estrategia más importante para aumentar la resiliencia de los sistemas hídricos es la restauración de ecosistemas saludables, seguida de la capacidad de responder rápidamente frente al cambio. En el contexto de la resiliencia ante la sequía, la estrategia más importante fue la diversificación de las fuentes que suministran el agua, aunque una gran parte de los participantes también se alineó con la noción de vivir dentro de los límites de los recursos hídricos disponibles (Rodina, 2019). La investigación mostrada por dicha encuesta reúne comunidades de conocimiento y práctica evidentemente diferentes, pero proporciona un punto de partida que sintetiza las estrategias de gestión hídrica más destacadas.

De manera que, la conceptualización que representa el significado de resiliencia de manera general es aquella que identificamos como resiliencia comunitaria o urbana, dentro de la cual es pertinente tomar en cuenta el término de desastre. La resiliencia también se considera la respuesta inminente ante un desastre, en otras palabras, qué tan preparada está una comunidad para reponerse anticipadamente. En la Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres (WCDRR, 2015) se establecieron maneras más eficientes de prepararse para contrarrestar el impacto causado por los desastres. En dicha conferencia, se resaltaron 4 aspectos: 1) entender el riesgo que implican los desastres, 2) fortalecer y gestionar la gobernanza del riesgo de desastres, 3) invertir en la reducción y prevención de los desastres para incrementar la resiliencia y 4) mejorar la preparación y reconstruir mejor para la recuperación y rehabilitación (Rijke, 2013).

Por su parte, la Guía de Resiliencia Urbana (Rodina y Chan, 2019), la resiliencia urbana presenta cuatro dimensiones: 1) espacial, 2) organizativa, 3) físico-funcional y 4) temporal. Estas dimensiones posibilitan el estudio de la comunidad a analizar, permitiendo una

intervención más efectiva ya que identifican las necesidades de una región para ejecutar un plan de acción, en este caso, un modelo para incrementar la resiliencia hídrica.

Entonces, la resiliencia hídrica es la capacidad del recurso hídrico para recuperarse ante los eventos de estrés, mediante herramientas y acciones antropogénicas que permitan garantizar su continua presencia. Esta idea considera que aquello que se caracteriza por ser resiliente y que puede recuperarse ante circunstancias adversas, es por consiguiente sustentable. La palabra sustentable indica que un sistema determinado se sostiene por sus propios medios indefinidamente. Al igual que la resiliencia urbana, la sustentabilidad se conforma de tres dimensiones: 1) social, 2) económico-ambiental y 3) ecológica.

Toda comunidad se entiende como un sistema compuesto de una parte social y una parte ecológica; estos dos subsistemas interactúan y dependen uno del otro, ocurriendo un proceso o secuencia de eventos dentro de la comunidad. Todo proceso de adaptación es importante ante la incertidumbre de futuros cambios, siempre que se acompañe de la mitigación. Según Holling (Rijke et al., 2013), un ciclo adaptativo involucra cuatro fases como resultado de su dinamismo:

- 1) Crecimiento: existe una gran disponibilidad de recursos.
- 2) Conservación: existe una ralentización. El sistema se vuelve más interconectado, pero menos flexible y más sensible a perturbaciones del exterior.
- 3) Liberación o destrucción: existen recursos paralizados o acumulados por el sistema. y emanan diferentes situaciones.
- 4) Reorganización: existe una reestructuración del sistema social y ecológico.

Las primeras dos fases se refieren al desarrollo y preservación de los ecosistemas y sociedades, mientras que las últimas dos fases representan la liberación y reestructuración del sistema para un nuevo inicio. La dinámica de los sistemas ecológicos es muy parecida a la adaptación y renovación de los sistemas sociales. Por lo tanto, el ciclo adaptativo hace referencia a una consecución de sucesos que se repetirán con sus variaciones y ajustes de eventual mejora en un sistema socio-ecológico. En este sentido, una estrategia que también sea sustentable tendrá el mismo comportamiento; una adecuada intervención estratégica sería posible durante las fases 3) o 4) del ciclo adaptativo de Holling. Recientemente, de acuerdo a las características de resiliente y sustentable, se creó un modelo para la generación de estrategias hídricas en base al ciclo adaptativo según Holling (Pahl-Wostl et al., 2012).

El agua es, en última instancia, un recurso finito y las soluciones marginales para la escasez de agua que se proponen actualmente en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo (WWDR) resultarán irremediablemente inadecuadas para 2050 en ausencia de cualquier esfuerzo serio para abordar estas verdades subyacentes. Las mejoras en la ciencia y la tecnología del tratamiento del agua, la gestión del agua y el suministro de agua limpia, y en la concienciación sobre la conservación y el ahorro del agua, mientras se desarrollan soluciones basadas en la naturaleza (NBS), ciertamente pueden aliviar la escasez de agua limpia en el futuro. Sin embargo, una mejor política es mucho más urgente que los avances científicos, tecnológicos y filosóficos, ya que esto no será suficiente. Existe un problema claro de promulgación y

cumplimiento normativo, especialmente en los países en desarrollo, que debe abordarse cuanto antes. Necesitamos la voluntad política para hacer cumplir las regulaciones globales, especialmente donde las economías y la población se están acumulando, ya que el desarrollo no regulado ya no es sostenible.

Del mismo modo, el Enfoque de Resiliencia del Agua de la Ciudad (CWRA, 2019) surge con el propósito de apoyar a las ciudades para que obtengan recursos hídricos de calidad y promover la seguridad hídrica ante perturbaciones relacionadas con el agua. Contempla un enfoque basado en evidencias sobre la evaluación de la resiliencia y la implementación de un plan de acción, proponiendo su medición y seguimiento.

Por otra parte, existen referentes nacionales sobre las participaciones relacionadas con la resiliencia hídrica en el país. Por ejemplo, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017) llevo a cabo una actualización con el propósito de renovar la seguridad del Sistema Cutzamala para mejorar el suministro de agua en la zona metropolitana del país. Entre las acciones propuestas están las siguientes:

- 1) Mejorar la red de obtención de datos para sustentar la información en la toma de decisiones para la gestión de los recursos hídricos en el Sistema Cutzamala.
- 2) Ingeniería de diseño de una línea reversible para transportar agua al vaso de Villa de Victoria y la rehabilitación de las presas del Sistema Cutzamala.
- 3) Operación del Observatorio del Acuífero del Valle de México, así como el diagnóstico para evaluar la cantidad y la calidad del agua.
- 4) Renovación de las plantas de tratamiento existentes e infraestructura para la construcción de pozos de recarga artificial y los caminos de transporte.

Adicionalmente, la Estrategia de Resiliencia de la CDMX (Agenda de Resiliencia, 2022) se enfrenta a diversos retos a nivel ambiental, social y económico debido a la situación geográfica, la transformación socio-ambiental y el contexto social que ha experimentado la Ciudad de México. Asumen que el crecimiento poblacional y la expansión del territorio han generado problemas como una intensa explotación de recursos naturales, desigualdad y marginación; asentamientos irregulares, alta generación de residuos y contaminación, entre otros. Además, el cambio climático es un factor sumamente importante ya que puede intensificar los riesgos y volverlos extremos. Los planes de acción se basan en los siguientes ejes estratégicos:

- 1) Fomentar la Coordinación Regional: debido al crecimiento urbano que ha experimentado la CDMX, la construcción de resiliencia requiere trascender la frontera político-administrativa.
- 2) Impulsar la resiliencia hídrica como nuevo paradigma para el manejo del agua en la cuenca de México.
- 3) Planear para la resiliencia urbana y territorial: la visión para este eje es que los ciudadanos de la CDMX tengan un acceso equitativo a equipamiento urbano, vivienda, áreas verdes y espacios públicos.
- 4) Mejorar la movilidad a través de un sistema integrado, seguro y sustentable:

- 5) Desarrollar la innovación y la capacidad adaptativa: que la CDMX incremente su capacidad para responder a un contexto de riesgos dinámicos y cambiantes de origen social o natural.

En especial, el eje estratégico número 2 está relacionado con el futuro abasto y gestión del recurso hídrico, reconociendo las insuficiencias del actual sistema de gestión del agua y proponiendo a su vez una gestión integrada de recursos hídricos urbanos. Los principios de resiliencia se basan en siete cualidades, donde la ciudad sea: 1) inclusiva, 2) integrada, 3) sólida, 4) ingeniosa, 5) reflexiva, 6) redundante y 7) flexible.

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat), señala que todas las ciudades en el mundo son propensas a recibir impactos ocasionados por conmociones de origen natural o antropogénico. En México, las ciudades resilientes son Colima, Guadalajara, Juárez y la Ciudad de México, según el programa 100 Resilient Cities (100 RC), auspiciado por la fundación Rockefeller. La selección de estas ciudades se hace en varias etapas; la primera de ellas consiste en la identificación y diagnóstico de los retos que enfrenta cada una de ellas. Posteriormente, se desarrolla una agenda estratégica conformada por diversas acciones y objetivos orientados a construir ciudades que cumplan con: 1) estar preparadas ante riesgos naturales y antropogénicos, 2) ser social y económicamente prósperas, 3) urbanísticamente integradas y 4) ambientalmente sostenibles. Particularmente, las acciones para el manejo del agua son las siguientes:

- 1) Colima: considera llevar a cabo un análisis de su sistema hídrico para obtener un mapa que identifique las acciones que garanticen lo necesario para asegurar la calidad del agua a largo plazo, así como financiar proyectos sustentables para la conservación de la biodiversidad en base a la participación ciudadana para obtener a largo plazo la preservación de los servicios ambientales hidrológicos.
- 2) Juárez: considera generar un modelo de resiliencia con acciones orientadas a la obtención de mayor capacidad de respuesta ante contingencias ambientales. Esta iniciativa contempla la resolución de problemas de inundación e involucra mejoras en el sistema de drenaje. Además, añade la infraestructura verde para el aprovechamiento sustentable del agua y la capacitación de actores de diferentes sectores.

Las propuestas anteriores están alineadas según las dimensiones de la resiliencia urbana definidas por Organización de las Naciones Unidas, es decir, la definición del ámbito legal, planificaciones a largo plazo y la propuesta de proyectos y su auto sustentación.

Conclusiones

El cambio climático ha modificado el panorama en diferentes regiones alrededor del mundo, los asentamientos humanos tienen una implicación directa con el medio ambiente, por tanto, la afectación de este tiene una repercusión directa sobre las condiciones de vida de la población. Una buena parte del problema está en función del crecimiento demográfico, los pronósticos sugieren un cambio de paradigma en el largo plazo, dado que los recursos para la subsistencia humana no son infinitos, de ellos y por su importancia para la vida, la salud y

las actividades económicas, especialmente la agricultura, el agua quizá sea el más importante para el hombre.

Aunado a esto, el crecimiento demográfico ha traído consigo un aumento en la demanda del agua, asimismo, reduciendo de manera considerable su disponibilidad con su contaminación, de igual manera se ha incrementado el consumo per cápita y se ha interrumpido su ciclo natural de manera importante sin mencionar los efectos del calentamiento global en donde la especie humana ha jugado un papel importante.

El entorno siempre ha estado y estará en constante cambio, por lo que se torna necesario desarrollar una modelo de adaptación al medio y en este caso de necesidad del recurso hídrico nos conlleva a una estrategia de resiliencia. Si bien es cierto que se ha generado una gran cantidad de conocimiento con la participación de diversos países e instituciones internacionales, sin embargo, las metodologías de resiliencia hídrica sugieren un análisis contextual e implementación de acciones para cada caso en particular que involucre esfuerzos de cada una de las partes de la sociedad, poniendo una atención específica a la gobernanza y la gestión de los recursos.

Para el caso de México, el problema del agua tiene muchas facetas, debido a los cambios de temperatura a lo largo del territorio. Esto se agudiza por un manejo inadecuado del recurso hídrico. Por lo que es de vital importancia las estrategias a implementar en su distribución, debido a que hoy en día constituye un gran problema y se convierte en un reto de los gobiernos. Por lo que, la implementación de estrategias es fundamentales para la implementación de resiliencia hídrica y gestión donde participen todos los sectores de la sociedad. Cuando se trata de la gestión de sequías, la estrategia resiliente más recurrida es aquella que refiere a la diversificación de las fuentes de suministro de agua, añadiendo enfoques holísticos que involucren la creación de sistemas de recolección y reutilización de aguas pluviales.

Debido a que la resiliencia hídrica implica el reconocimiento y la aceptación de la variabilidad e incertidumbre de los ciclos hidrológicos, es necesario contemplar e implementar bases teórico-referenciales sustentadas en ciclos adaptativos para la intervención planificada, así como formas de gobernanza policéntrica.

Finalmente, al referirse al cambio climático y resiliencia hídrica, se tienen implícitos los términos de desastre, vulnerabilidad, adaptación, gobernanza, mitigación y sustentabilidad. Esto significa que la resiliencia permite tener una mirada de donde se considera que una ciudad resiliente debe estar preparada para enfrentar y adaptarse a cualquier situación propensa a suceder.

Referencias

- Bakker y Cameron** 2005. Governance, Business Models and Restructuring Water Supply Utilities
- Bell, S., A. Allen, P. Hofmann, and T.-H. Teh**, editors. 2017. Urban water trajectories. Springer.

Brown et al. 2009. Transition to Sustainable Urban Water Services of Tomorrow: A handbook for policy makers.

[Configuring transformative governance to enhance resilient urban water systems. *Environ. Sci. Policy*, 25 (2013), pp. 62-72

The Climate Reality Project. 555 11th Street NW Suite 601 Washington, DC 20004. Available from: <https://www.climateproject.org/blog/how-climate-change-affecting-mexico>

Delgado, G. (2014). Ciudad, agua y cambio climático: una aproximación desde el metabolismo urbano. *Medio Ambiente y Urbanización*, 80(1), 95-123.

Donat M.G., Lowry A.L., Alexander L.V., O’Gorman P.A., Maher N. More Extreme Precipitation in the World’s Dry and Wet Regions. *Nat. Clim. Chang.* 2016; 6:508. doi: 10.1038/nclimate2941.

Ferguson et al. (2013). A strategic program for transitioning to a Water Sensitive City. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.04.016

Guzmán, J.M., et al., Population dynamics and climate change. 2009.

Hardee, K. and C. Mutunga, Strengthening the link between climate change adaptation and national development

Holling, C.S. y Gunderson, L. (2002). Resilience and Adaptive Cycles. En: Gunderson, Lance y C.S. Holling (Eds.). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems* (25- 62), EE. UU.: Island Press.

IPCC (2013). Glosario. En T. Q.-K. Stocker (Ed.), *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (págs. 185-204). Reino Unido y Nueva York: Planton, S.

[11] IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*

Jessica Bravo-Cadena et al. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 feb; 18(4): 1846. Published online 2021 Feb 14. doi: 10.3390/ijerph18041846

Lucy Rodina. 2019. Water resilience lessons from Cape Town's water crisis

Josie Garthwaite, School of Earth, Energy & Environmental Sciences

Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2011; 15:1577–1600. doi: 10.5194/hess-15-1577-2011

Michelle Nichols; Available from: <https://www.reuters.com/business/environment/david-attenborough>

Naciones Unidas (1992). *Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático*. Nueva York: Naciones Unidas.

NASA. Scientific consensus: Earth’s climate is warming. 2020. Available from: <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus>

- Population Matters.** Climate change. 2018; Available from: <https://populationmatters.org/the-facts/climate-change> plans: lessons de the case of population in National Adaptation Programmes of Action (NAPAs). Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2010. 15(2): p. 113-126.
- ONU** (2015a). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU HABITAT** (2018). Ciudades resilientes. Resiliencia urbana. Recuperado de: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/ciudades-resilientes>
- Pahl-Wostl, C., L. Lebel, C. Knieper, and E. Nikitina.** 2012. From applying panaceas to mastering complexity: toward adaptive water governance in river basins. *Environmental Science & Policy* 23(2012):24-43.
- PNUMA y GEF** (2019). Construcción de resiliencia climática en Sistemas Urbanos mediante la adaptación basada en ecosistemas Abe, en América Latina y el Caribe. México: City Adapt.
- Rijke et al.,** 2013 J. Rijke, M. Farrelly, R. Brown, C. Zevenbergen Configuring transformative governance to enhance resilient urban water systems *Environ. Sci. Policy*, 25 (2013), pp. 62-72
- Rockström et al.** (2014b). The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a resilience-based perspective on water for global sustainability. DOI: 10.1002/eco.1562
- Rodina, L., and K. M.A. Chan.** 2019. Expert views on strategies to increase water resilience: evidence from a global survey. *Ecology and Society* 24(4):28. <https://doi.org/10.5751/ES-11302-240428>
- Rodina, L.** 2019b. Defining “water resilience”: debates, concepts, approaches, and gaps. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 6(2):1-18. <http://doi.org/10.1002/wat2.1334>
- Rosalía Cruz and S. Adame-Martínez.** Theoretical Referential foundation for the generation of a model of strategies for water resilience
- Soto, G., & Herrera, M.** (2009). Estudio sobre el impacto del cambio climático en el servicio de abasto de agua de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Teja, J.** (2015). Third world conference on risk of disaster reduction. Approval of the Sendai Frame, 11(21):93, Cuba: INFODIR.
- Universidad Nacional Autónoma de México** Proyecciones de temperatura. Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México (2018).
- Wada, Y. et al.** Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geosci. Model Dev.* 9, 175–222 (2016).
- WMO-** No. 1278. Available from: <https://library.wmo.int/index>