

Análisis geoespacial de la vulnerabilidad por acceso diferenciado al agua potable: el caso de Iztapalapa, Ciudad de México

Luis Antonio Contreras Estrada

Resumen

Este capítulo analiza la distribución espacial de la vulnerabilidad en el acceso al agua potable en Iztapalapa, Ciudad de México, utilizando el marco teórico de Turner para sistemas socioecológicos. Mediante un modelo construido con análisis jerárquico de datos georreferenciados, se evaluaron tres componentes clave: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Los resultados se visualizan en mapas temáticos que revelan patrones de desigualdad marcados por acaparamiento del recurso, deficiencia infraestructural y perpetuación de la precariedad hídrica. El estudio identifica que la vulnerabilidad no es homogénea en el territorio, sino que refleja dinámicas sociopolíticas profundas. Las conclusiones destacan cómo la corrupción, negligencia institucional y clientelismo político intensifican el estrés hídrico en la población, consolidando ciclos de pobreza y desigualdad. Esta aproximación metodológica permite no solo diagnosticar la situación actual, sino también fundamentar la necesidad de políticas públicas que aborden las causas estructurales de la injusticia hídrica en entornos urbanos marginados. La investigación evidencia la urgente necesidad de transitar hacia modelos de gestión transparentes y equitativos que garanticen el derecho humano al agua en la demarcación.

Palabras clave: Acceso agua potable; vulnerabilidad; proceso analítico jerárquico; cartografía; Iztapalapa.

Abstract

Within the context of the diverse challenges related to access to drinking water in Mexico City and in light of various reflections on the assessment of water-related vulnerability in urban settings, the objective of this chapter is to visualize the spatial distribution of the degree of vulnerability stemming from differential access to drinking water in the Iztapalapa borough of Mexico City. To this end, a review of prior research and theory is conducted, covering topics such as water availability, scarcity, and the human right to water; vulnerability related to differential access to drinking water; and the specific situation of water access in the study area. As a core methodological resource, the study employs Turner's theoretical-analytical framework of vulnerability (TVUL), which focuses on vulnerability analysis from a socio-ecological systems perspective. To achieve a spatial visualization of the problem and its specific characteristics, a vulnerability model was constructed using an Analytical Hierarchy Process (AHP) with georeferenced data. This data was used to build the components of exposure, sensitivity, and adaptive capacity. The primary results consist of a series of maps for each of these three components and an integrated map of vulnerability due to differential water access in the borough. The outputs of this work reveal an unequal distribution of drinking water access, resource hoarding, a lack of infrastructure, and the perpetuation of precarious conditions. In conclusion, it is acknowledged that the issues related to drinking water access in Iztapalapa are associated with various forms of corruption and negligence. These constitute a constant source of stress for the population and foster the concentration of poverty, inequalities, and political clientelism.

Keywords: Drinking water access; vulnerability; analytical hierarchy process; cartography; Iztapalapa.

Introducción

Las ciudades han emergido como los centros fundamentales de la vida humana contemporánea, concentrando no sólo población, sino también una diversidad de recursos y servicios que son esenciales para el bienestar y la calidad de vida. Según ONU-Habitat (2016), desde el año 2007, la mayoría de la población mundial reside en áreas urbanas, un fenómeno que ha acentuado los retos relacionados con la

planificación, gestión de recursos y organización social en diferentes escalas espaciales y temporales. Si bien las ciudades ofrecen múltiples beneficios en términos de oportunidades económicas, acceso a servicios y vida social, también son escenarios donde se originan y agravan problemáticas sociales y ambientales complejas.

Entre las múltiples problemáticas que enfrentan las áreas urbanas, el acceso al agua potable se destaca como un desafío crítico, particularmente en ciudades como la Ciudad de México (CDMX). La disponibilidad de agua, tanto en términos de cantidad como de calidad, está influenciada por una variedad de factores, incluyendo las características biofísicas del entorno, así como determinantes humanas relacionadas con aspectos económicos, culturales, políticos y tecnológicos. El tema de acceso al agua potable ha sido objeto de análisis, discusión y atención en múltiples niveles de la sociedad. El uso y demanda de agua por parte de la población, aunado a procesos derivados de dinámicas económicas y del mercado global, han generado complejas relaciones en torno a la disposición, control y manejo del agua (Oliver, 2006; Kaika, 2006).

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental, reconocido por organismos internacionales como las Naciones Unidas (PNUD, 2016). Sin embargo, la realidad es que el acceso a este recurso vital no es equitativo. A nivel global, se estima que la disponibilidad de agua por habitante se ha reducido y continuará haciéndolo debido al crecimiento demográfico y otros factores socioeconómicos. Por ejemplo, en países como Mozambique, el consumo promedio de agua es de menos de 10 litros por persona al día, en contraste con los 200 a 300 litros diarios por persona que se registran en la mayoría de los países de Europa (PNUD, 2016; Penco, 2014).

La diferencia entre los conceptos de *escasez* y *disponibilidad* es clave para entender la problemática del agua. La *disponibilidad* está ligada a los aspectos biofísicos del entorno, como el clima y la geografía, mientras que la *escasez* es una construcción social que refleja la desigual distribución y acceso al recurso, influenciada por decisiones políticas y económicas (Kloster, 2008). En el contexto de la CDMX, y específicamente en la alcaldía de Iztapalapa, estas diferencias se manifiestan de manera aguda, con sectores de la población que enfrentan condiciones de vulnerabilidad debido a la falta de acceso a agua potable de calidad.

La CDMX se caracteriza por ser un complejo sistema socioecológico y tecnológico en lo que a la gestión del agua corresponde (SACMEX, 2018), en el que confluyen cuatro principales elementos: el sustrato físico-climático, el componente tecnológico, el sistema de gestión (político-administrativo) y los usuarios del servicio. Este sistema es

reflejo de las profundas interacciones entre los aspectos naturales e intervenciones humanas, que a lo largo de la historia han modificado el paisaje y las dinámicas de acceso al agua en la ciudad (CONAGUA, 2016). Desde la época prehispánica, cuando los antiguos pobladores desarrollaron infraestructura para gestionar el agua, hasta los esfuerzos modernos por mantener un suministro adecuado, el manejo del agua ha sido un desafío constante en el Valle de México (León-Portilla, 2005).

La infraestructura hídrica actual de la CDMX es vasta y compleja, con una red de más de 13,430 kilómetros de tuberías y un sistema de fuentes internas y externas que abastecen a la ciudad. Sin embargo, esta infraestructura no es suficiente para cubrir de manera equitativa las necesidades de toda la población. Se estima que 40% del agua potable en la CDMX se pierde debido a fugas, una situación que se ve exacerbada por el terreno inestable y la falta de mantenimiento adecuado (SACMEX, 2016).

La alcaldía Iztapalapa, en la CDMX, ha enfrentado históricamente problemas relacionados con la falta de agua potable, un reto que se ha agudizado con el crecimiento demográfico y la expansión urbana desordenada. A pesar de los esfuerzos de las dependencias y los gobiernos locales por mejorar la infraestructura, muchas áreas de la alcaldía continúan sufriendo de un acceso limitado y desigual al agua. La situación es particularmente crítica en las colonias que surgieron de invasiones de tierra en las décadas pasadas, donde la falta de servicios públicos básicos, incluyendo el agua potable, es una realidad cotidiana (Moreno, 2008). El problema del agua en Iztapalapa no puede ser entendido únicamente desde una perspectiva técnica o de infraestructura. Las causas de la falta de acceso al agua potable en la alcaldía son múltiples y están interrelacionadas, incluyendo factores políticos, económicos y sociales (Castro, 2007).

De acuerdo con datos del Gobierno de la Ciudad de México, en términos de suministro de agua potable, de los 35.17 m³/s que se suministran a la CDMX, solo 4.63 m³/s le corresponden al consumo total de Iztapalapa, a su vez, ese volumen se divide en usos, se asignan 1.03 m³/s para el uso industrial y 3.60 m³/s para el uso doméstico. No obstante, la dotación para cada habitante no es equitativa, Iztapalapa cuenta con 51 colonias con servicio por tandeo (Gobierno de la CDMX, 2019), la red hidráulica cubre el 97% del territorio de la alcaldía y solo atiende al 75% de la población, el 25% restante tiene que abastecerse de fuentes alternas, como dotación a través de camiones cisterna o la compra de agua purificada en garrafones (Protección Civil, 2014).

En este contexto, es fundamental adoptar un enfoque integrador y transdisciplinario para analizar y abordar la problemática del agua en Iztapalapa. Este estudio se enmarca en la necesidad de desarrollar metodologías que permitan visualizar y comprender las condiciones de vulnerabilidad en la alcaldía, utilizando herramientas de análisis multifactorial apoyadas en sistemas de información geográfica (SIG). El objetivo de esta investigación es reconocer y visualizar espacialmente el grado de vulnerabilidad de la población por acceso diferenciado al agua potable en Iztapalapa, determinando la distribución de los factores relevantes que configuran esta condición.

A lo largo de este estudio de caso, se utilizan diversas fuentes de datos y metodologías para construir un modelo que refleje las realidades de Iztapalapa en términos de acceso al agua. Este modelo a su vez se basa en un análisis jerárquico que permite evaluar la relevancia de diferentes variables y componentes, proporcionando una visión integral de la vulnerabilidad hídrica en la alcaldía. Los resultados de este análisis se presentan en una serie de mapas que muestran las condiciones de vulnerabilidad en diferentes dimensiones socioeconómicas y territoriales, proporcionando una herramienta útil para la toma de decisiones en la gestión del agua en Iztapalapa.

Este estudio se sitúa en la intersección de las ciencias sociales y ambientales, buscando aportar al entendimiento de cómo las desigualdades en el acceso a recursos básicos como el agua reflejan y perpetúan las desigualdades sociales en áreas urbanas marginadas. Iztapalapa es un caso emblemático de estas dinámicas.

Marco teórico

El estudio de la vulnerabilidad en el contexto del acceso al agua potable en entornos urbanos, como el caso de Iztapalapa, requiere una comprensión profunda y multidimensional del concepto de vulnerabilidad y su relación con los sistemas socioecológicos. La vulnerabilidad es un concepto amplio que ha sido abordado desde diversas disciplinas y perspectivas teóricas. En este apartado, se describen los principales enfoques teóricos que sustentan la presente investigación, con un énfasis particular en la teoría de los sistemas socioecológicos y el marco teórico-analítico de vulnerabilidad desarrollado por Turner et al. (2003).

Vulnerabilidad y sistemas socioecológicos

La teoría de los Sistemas Socioecológicos (SSE) es un enfoque integrador que busca comprender las interacciones complejas entre los sistemas humanos y naturales. Berkes y Folke (1998), introdujeron el concepto de SSE para describir la interdependencia y coevolución de los sistemas ecológicos y sociales. Según este enfoque, los SSE están conformados por agentes, acciones y un sustrato físico-tecnológico, y se caracterizan por su autoorganización, no linealidad, y altos niveles de incertidumbre (Holling, 2001; Folke et al., 2002).

En el contexto de los SSE, la vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de un sistema a sufrir daños o perturbaciones debido a su exposición a riesgos, su sensibilidad, y su capacidad adaptativa para responder a estos desafíos. Carpenter et al. (2001), destacan que la estabilidad de un SSE está determinada por su capacidad para mantener un equilibrio dinámico en respuesta a perturbaciones internas y externas. Esta capacidad de adaptación es clave para la resiliencia del sistema, entendida como la habilidad de absorber perturbaciones y reorganizarse sin perder su función esencial (Resilience Alliance, 2015; Walker et al., 2006).

La ecología política y enfoques relacionados han demostrado que es crucial examinar los contextos socioculturales y las relaciones de poder para captar las heterogeneidades subyacentes en la vulnerabilidad de los SSE. Manuel-Navarrete et al. (2015), proponen el concepto de acoplamiento doble para describir cómo los componentes sociales y naturales de los SSE se organizan y relacionan, tanto materialmente como a través de acciones y conductas. Este enfoque destaca la importancia de considerar tanto los aspectos biofísicos como las dinámicas sociales en el estudio de la vulnerabilidad.

Vulnerabilidad en el contexto del agua potable

Desde la ecología política, la vulnerabilidad se considera como un proceso continuo que determina el potencial de efectos negativos en individuos, grupos o sistemas. Esta perspectiva enfatiza las relaciones de poder, la distribución de recursos, y el desarrollo tecnológico como factores clave que influyen en la vulnerabilidad (Cardona, 2004; Pelling, 2015).

En el contexto de los sistemas socioecológicos, la vulnerabilidad se entiende como una condición multidimensional, multiescalar y relativa, que varía en función de las circunstancias socioeconómicas y personales de los individuos. Eakin y Luers (2006), argumentan que la

diversidad de enfoques en el estudio de la vulnerabilidad es necesaria para abordar la complejidad del concepto. Según estas autoras, la vulnerabilidad está compuesta por tres elementos principales: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. La exposición se refiere a la presencia de un sistema o población en una zona de riesgo, mientras que la sensibilidad describe la susceptibilidad del sistema a ser afectado por una perturbación, y la capacidad adaptativa se refiere a la habilidad del sistema para responder y recuperarse de los efectos de la perturbación.

El agua es un recurso natural indispensable para la vida y para la mayoría de las actividades humanas, pero su gestión y distribución están profundamente influenciadas por decisiones humanas y políticas (Harvey, 2013). En este sentido, la vulnerabilidad hídrica no solo depende de la disponibilidad física del recurso, sino también de la equidad en su distribución y acceso. El concepto de *equidad* es fundamental para entender la vulnerabilidad en el acceso al agua. De acuerdo con Talen (1996, 2002), la *equidad* espacial se refiere a la igualdad en el acceso a servicios públicos básicos, medida por un índice de distancia. Esta perspectiva sugiere que la distribución desigual del agua potable es un reflejo de las desigualdades sociales más amplias que caracterizan a las áreas urbanas. Por tanto, el acceso diferenciado al agua puede ser entendido como la dotación o distribución irregular e inequitativa del recurso, lo que genera condiciones de vulnerabilidad para aquellos que no pueden acceder al agua en cantidad y calidad suficientes (Crompton y Wicks, 1988; Crompton y Lue, 1992).

Marco teórico-analítico de Turner et al. (2003).

El marco teórico-analítico desarrollado por Turner et al. (2003), proporciona una base para el estudio de la vulnerabilidad en sistemas socioecológicos. Este enfoque se centra en la relación entre la vulnerabilidad y la sostenibilidad, y propone un análisis integrado que considera tanto los factores biofísicos como los sociales y políticos. El marco de Turner et al. (2003), identifica la vulnerabilidad como un concepto central para las ciencias de la sostenibilidad, debido a su doble propósito de satisfacer las necesidades de la sociedad y mantener la estabilidad de los sistemas que dan soporte a la vida.

El marco de Turner et al. (2003), se basa en la premisa de que la vulnerabilidad es una condición dinámica, influenciada por el cambio constante en las interacciones entre los sistemas sociales y naturales. Según este enfoque, la vulnerabilidad debe ser entendida no solo como la exposición a peligros, sino también como la capacidad de los sistemas

para adaptarse y reorganizarse en respuesta a las perturbaciones. La sensibilidad de un sistema ante una amenaza está ligada a los derechos y la capacidad de ejercer control sobre recursos clave, como el agua, y se combina con los mecanismos de defensa contra las amenazas, que pueden estar presentes en las estructuras sociales, instituciones y formas de organización política (Sen, 1992).

El concepto de resiliencia es clave en el marco de Turner et al. (2003), ya que se refiere a la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y reorganizarse mientras mantiene su función esencial. En este contexto, la resiliencia incluye atributos como la capacidad adaptativa y transformativa, que permiten a los sistemas sociales y ecológicos responder a las amenazas de manera flexible y aprender de la experiencia (Walker et al., 2006). Este enfoque sugiere que las amenazas pueden ser vistas no solo como desafíos, sino también como oportunidades para la innovación y la adaptación.

Una de las contribuciones más importantes del marco de Turner et al. (2003), es su enfoque en la escala de análisis. Este marco reconoce la importancia de realizar análisis basados en escalas locales, que permitan capturar la diversidad de contextos que determinan la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos. En el caso de Iztapalapa, esto implica un análisis detallado de las interacciones entre los factores sociales, económicos y ambientales que configuran la vulnerabilidad hídrica en la alcaldía.

Métodos

El estudio de la vulnerabilidad por acceso diferenciado al agua potable en Iztapalapa se llevó a cabo a través de un enfoque metodológico que combina herramientas de análisis espacial, técnicas estadísticas y modelos multicriterio. Este enfoque permite integrar una variedad de datos cuantitativos y cualitativos, proporcionando una visión holística de la problemática. A continuación, se detallan los principales pasos seguidos en esta investigación, desde la selección de variables, la etapa de construcción del modelo de vulnerabilidad y la elaboración cartográfica que permitirá visualizar los resultados.

Selección de variables y construcción de bases de datos

La primera etapa del proceso metodológico consistió en la selección de variables clave para conformar los componentes de vulnerabilidad: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. La selección de estas

variables se basó en una revisión crítica de la literatura y en la disponibilidad de datos oficiales, consolidados y específicos para la alcaldía de Iztapalapa.

Para el componente de *exposición*, se seleccionaron tres variables principales: la intermitencia del servicio de agua potable, los reportes de falta de agua, y las fugas en la red de distribución. La intermitencia del servicio se refiere al número de horas semanales en que las viviendas reciben agua potable a través de la red de infraestructura. Los reportes de falta de agua y las fugas en la red se evaluaron mediante el número de quejas registradas por cada diez viviendas, reflejando la frecuencia y gravedad de estos problemas en la alcaldía. Estas variables se obtuvieron del Plan Hídrico de Iztapalapa (2007) y se ajustó a escala manzana.

El componente de *sensibilidad* se evaluó utilizando variables derivadas del Índice de Desarrollo Social del Consejo de Evaluación del Desarrollo Social de la Ciudad de México (Evalúa-CDMX, 2010), que incluye indicadores como la calidad en el espacio y la vivienda (CEV), el acceso a salud pública y seguridad social (ASSS), y el rezago educativo (RE). Estos indicadores se seleccionaron por su relevancia en el contexto de la vulnerabilidad social y por su capacidad para capturar las condiciones socioeconómicas y culturales que influyen en las condiciones de la población en torno a las consecuencias de problemas por falta de agua.

Para el componente de *capacidad adaptativa*, se seleccionaron variables que reflejan presencia y cercanía a la infraestructura hídrica y las alternativas disponibles por su potencial para convertirse en vías para mitigar la falta de agua. Estas incluyen la densidad de la infraestructura hídrica (red de pozos, tanques y garzas), con datos de SACMEX, 2009, la densidad de comercializadoras de agua purificada con datos de OVIE y DENUE 2018, así como los bienes durables, la adecuación sanitaria y energética con datos de Evalúa-CDMX, 2010. La relación de esta última variable con el componente de capacidad adaptativa es positiva en términos del aporte al componente, no necesariamente una condición real favorable y varía en función de la capacidad adquisitiva. Se asume que entre mayor sea la capacidad de adquirir bienes durables, mayor es la capacidad adaptativa ante el acceso al agua potable. La selección de estas variables se basó en su potencial para representar la capacidad del sistema para responder a las amenazas de manera flexible ante la problemática del agua.

Una vez seleccionadas las variables, se procedió a la construcción de bases de datos georreferenciadas que permitieron integrar la información espacial y demográfica de la alcaldía Iztapalapa, tomando

como base información espacial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015;2018). Estas bases de datos incluyeron información detallada sobre cada manzana en la alcaldía, lo que permitió un análisis granular de la vulnerabilidad, los pasos que se siguieron se describen a continuación.

Normalización y ajuste de los datos

La normalización y ajuste de los datos se llevaron a cabo tanto para asegurar la comparabilidad espacial de los datos como para permitir la comparación entre variables y la integración en los componentes.

Para el caso del componente de exposición sus variables se procesaron de la siguiente manera:

Servicio Intermitente de Agua Potable. Se transformaron los valores de periodicidad a valores de horas con dotación de agua a la semana por colonia y posteriormente a nivel manzana, por medio de una categorización y procesos de estadística zonal en plataformas SIGs.

Falta de Agua Potable. Se transformó el dato de reportes totales por colonia a número de reportes por cada 1000 viviendas para el caso de las colonias, y número de reportes por cada 10 viviendas para el caso de las manzanas.

Fugas de Agua Potable. Se transformó el dato de número total de reportes por colonia a número de reportes por cada 1000 viviendas por colonia y para la columna de manzanas se generó el número de reportes por cada 10 viviendas por manzana.

El componente de sensibilidad se normalizó utilizando la escala ordinal definida por el Índice de Desarrollo Social, lo que permitió comparar directamente los niveles de CEV, ASSS y RE entre las diferentes manzanas. Para cada una de las variables se realizó una concatenación de columnas y atributos con la base de datos construida anteriormente por AGEBS, colonias y manzanas.

En cuanto a la capacidad adaptativa, se realizó un ajuste similar. El tratamiento correspondiente para las capas de información de infraestructura hidráulica: red de tuberías, red de pozos, red de tanques y garzas, y de la capa de puntos de establecimientos de comercializadoras de agua potable, se obtuvieron métricas relativas a la densidad y distancia, a partir de las capas originales, las cuales fueron integradas a las unidades de análisis territorial (colonia y manzana), mediante el geoproceto de *Estadística Zonal*. El caso de las variables bienes durables, adecuación energética y adecuación sanitaria, los datos se encuentran estandarizados y con una clasificación adecuada para la comparación e integración desde su origen (Tabla 1).

Tabla 1. Variables utilizadas en el modelo de vulnerabilidad

Compo- nente	Variable	Relación al compo- nente	Tipo / Métrica	Escala (original / ajustada)	Origen
Exposi- ción	Servicio In- termitente de Agua Potable	Negativa	Gestión / Horas a la semana con dotación de agua (hrs por semana)	Colonia/ Manzana	Plan Hídrico de Iztapala- pa, 2007
	Falta de Agua potable	Positiva	Gestión / Número de reportes (Co- lonia x1000 vivien- das) (Manzana x10 viviendas)	Colonia por cada 1000 viviendas/ Manzana	Plan Hídrico de Iztapala- pa, 2007
	Fugas de Agua Potable	Positiva	Gestión / Número de reportes (Co- lonia x1000 vivien- das) (Manzana x10 viviendas)	Colonia/ Manzana	Plan Hídrico de Iztapala- pa, 2007
Sensibili- dad	Calidad en el Espacio y la Vivienda (CEV)	Negativa	Condición / Grado	Localidad / Manzana	EVALUA, 2015
	Acceso a Servicios de Salud y Segu- ridad Social (ASSS)	Negativa	Condición / Grado	Localidad / Manzana	EVALUA, 2015
	Rezago Edu- cativo (RE)	positiva	Condición / Grado	Localidad / Manzana	EVALUA, 2015
Cap. Adapta- ción	Bienes dura- bles	Positiva	Condición / Grado	Localidad / Manzana	EVALUA, 2015
	Adecuación sanitaria	Positiva	Condición / Grado	Localidad / Manzana	EVALUA, 2015
	Adecuación energética	Positiva	Condición / Grado	Localidad / Manzana	EVALUA, 2015
	Densidad de infraestruc- tura hídrica (red, pozos y tanques)	Positiva	Infraestructura / Gradiente en metros lineales	15 m / Pixel	Sacmex, 2001
	Densidad de comercializa- doras de agua purificada	Positivo/ Negativa	Infraestructura / Gradiente en metros lineales	15 m / Pixel	OVIE- DENUE, 2010

Análisis multicriterio y construcción del modelo de vulnerabilidad

La integración de los tres componentes de vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) en un modelo global, se llevó a cabo a través de un análisis multicriterio. En primer lugar, se utilizó un Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) para determinar los pesos específicos de cada variable y, a su vez, de cada componente en el modelo final de vulnerabilidad.

El AHP se implementó utilizando la herramienta *Super Decisions*, que permite estructurar los problemas de decisión en una jerarquía de objetivos, criterios y alternativas, formulando planteamientos como, por ejemplo; ¿qué tiene mayor relevancia en la problemática de ineficiencia de agua? y se elige entre las opciones que se tengan establecidas. El proceso de AHP involucró la comparación por pares de las variables y los componentes de vulnerabilidad para determinar su importancia relativa. Esto se hizo a través de un proceso participativo que incluyó a ocho habitantes de cuatro colonias de Iztapalapa y cuatro expertos en gestión hídrica. Estos participantes proporcionaron sus juicios sobre la importancia relativa de cada componente, lo que permitió calcular los pesos finales utilizados en el modelo de vulnerabilidad.

Con lo anterior se obtuvieron pesos específicos para cada variable y componente, el resultado para el componente de *exposición* fue que la intermitencia del servicio era la problemática que se considera más relevante, por el hecho de ser un factor de incertidumbre constantemente cambiante y el que presenta la condición más negativa en la demarcación. Posteriormente, en este proceso, se estableció que, tanto los reportes de falta de agua, como los reportes de fugas de agua se ponderarán con el mismo valor.

Para la cuantificación de la *Exposición* se definieron los siguientes pesos específicos por variable:

$$\text{Exposición} = (\text{SI} * 0.50) + (\text{FAP} * 0.25) + (\text{FUG} * 0.25)$$

SI= Servicio Intermitente

FAP= Falta de Agua Potable

FUG= Fugas de Agua Potable

En cuanto al componente *Sensibilidad*, los umbrales asignados consisten en el inverso de la escala ordinal definida por el Índice de Desarrollo Social elaborado por Evalúa-CDMX (2010). La ponderación se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Sensibilidad} = (\text{CEV} * 0.33) + (\text{ASSS} * 0.33) + (\text{RE} * 0.33)$$

CEV= Calidad y Espacio en la Vivienda

ASSS= Acceso a Salud Pública y Seguridad Social

RE= Rezago Educativo

Para la cuantificación del componente de *Capacidad Adaptativa* se definieron los siguientes pesos específicos por variable:

$$\text{Capacidad Adaptativa} = (\text{BD} * 0.4) + (\text{AS} * 0.15) + (\text{AE} * 0.05) + (\text{DIH} * 0.20) + (\text{DCAP} * 0.20)$$

BD= Bienes Durables

AS= Adecuación Sanitaria

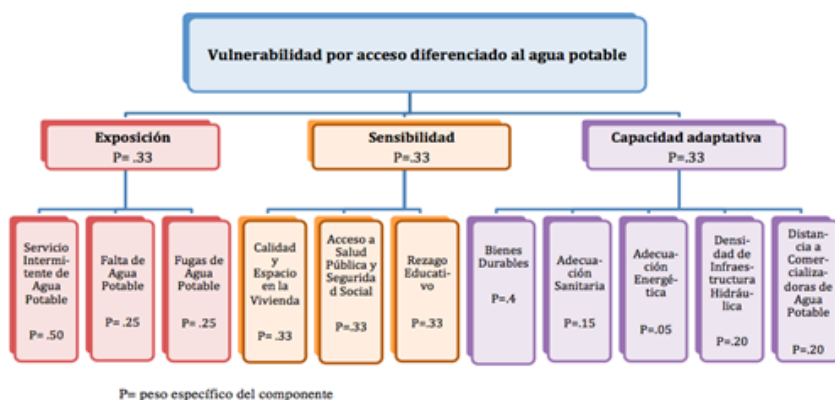
AE= Adecuación Energética

DIH= Densidad de Infraestructura Hidráulica

DCAP= Distancia a Comercializadoras de Agua Potable

Finalmente, los resultados del AHP aplicados al modelo general de vulnerabilidad indicaron que los tres componentes de vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) tenían una importancia equivalente, con pesos asignados de 0.33 a cada uno. El modelo de vulnerabilidad resultante fue una combinación lineal ponderada de los tres componentes, lo que permitió obtener un índice global de vulnerabilidad para cada manzana en Iztapalapa.

Figura 1. Esquema modelo AHP



A través de programación en lenguaje Python, se automatizaron las operaciones matemáticas entre las columnas de las bases de datos que conforman el índice de vulnerabilidad. De esta forma quedó la asignación de pesos específicos y la generación de 4 o 5 categorías según fuera el caso para cada capa de información: “Muy Alta”, “Alta”,

“Media”, “Baja” y “Sin Dato” o “Sin Población”. ya que, de acuerdo con el criterio de Clasificación del INEGI, menos de 20 habitantes en una manzana, no se reportan en los metadatos “desagregados por manzana”. Finalmente, la visualización del modelo de vulnerabilidad se llevó a cabo mediante la elaboración de mapas temáticos que representan la distribución espacial de la vulnerabilidad en Iztapalapa. Estos mapas fueron creados utilizando plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Resultados

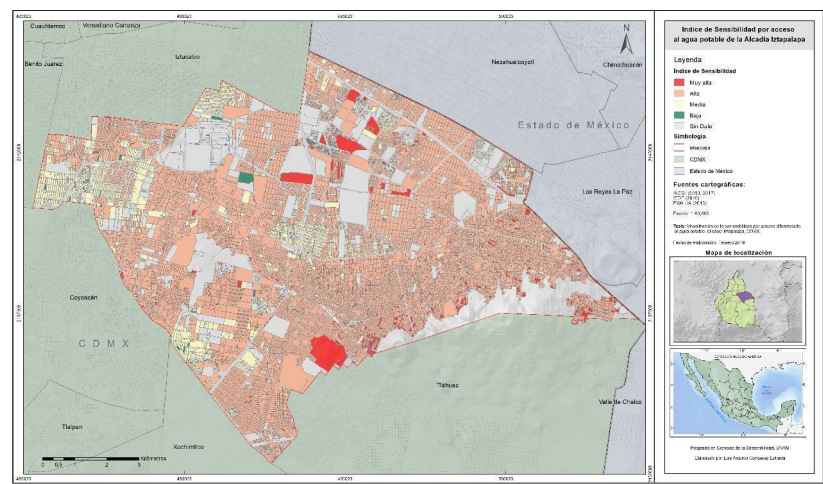
El análisis de la vulnerabilidad por acceso diferenciado al agua potable en Iztapalapa produjo resultados que revelan patrones claros de desigualdad en la distribución de este recurso vital en la alcaldía y como está vinculada con otro tipo de carencias sociales. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada componente de vulnerabilidad.

Exposición

El mapa de exposición muestra una acumulación de variables negativas en las zonas sur y oriente de Iztapalapa, donde la intermitencia del servicio de agua potable es más frecuente y las fugas en la red son más comunes. Las colonias como Citlalli, Desarrollo Urbano Quetzalcóatl, San Miguel Teotongo y Santa Catarina son algunas de las más afectadas, reflejando un “alto” nivel de exposición al riesgo de falta de agua. Estas áreas presentan una dotación de agua por semana que está por debajo del promedio de la alcaldía, lo que evidencia un problema estructural en la infraestructura hídrica de estas zonas.

Lo anterior significa que 36% de toda la población de la alcaldía tiene un nivel entre “medio” y “muy alto” de exposición a algún tipo de problema relacionado con el acceso al agua potable. El resto de la población, 64%, se encuentra en un nivel “bajo” o “nulo” de exposición. Cabe mencionar que esto no significa que no afronten algún tipo de problemática, sino que no están expuestos de manera simultánea a varias de ellas.

Figura 3. Mapa de Sensibilidad



Capacidad Adaptativa

Los mayores niveles de capacidad adaptativa se concentraron en la zona poniente de la demarcación, principalmente en colonias que comparten límite con las alcaldías Benito Juárez, Coyoacán y Xochimilco. El resultado del análisis de este componente, mostrado en el mapa, ilustró una distribución homogénea de la infraestructura hídrica y las alternativas disponibles para acceder al agua potable. Sin embargo, las áreas en el sur y oriente de la alcaldía, como San Lorenzo Tezonco y Los Reyes Culhuacán, dependen de alternativas como la compra de agua en garrafones, lo que refleja una mayor vulnerabilidad en las manzanas de estas categorías.

Además, el mapa de capacidad adaptativa señala de manera clara la existencia de un patrón consistente de mala adaptación (Adger et al., 2003). La proliferación de establecimientos que venden agua sometida a algún proceso de purificación es indicador de una respuesta general al problema. Si bien esta alternativa representa una forma de acceder a agua de mejor calidad, no aporta a la mejora del sistema hídrico de la ciudad, por el contrario, apuesta por la dependencia y normalización de la mala gestión del agua potable en la demarcación.

considerar que la proporción del ingreso que se destine al abasto de agua tendrá un efecto de retroalimentación significativo en la economía de los hogares, de manera que, en los hogares con menos recursos, la inversión en adaptación frente a este problema específico restará recursos que podrían ser necesarios para atender otros problemas o necesidades (Eakin et al., 2014).

La presencia de infraestructura no determina el acceso al agua, debido a problemas como la presión hídrica diferencial, la irregularidad en el abasto y el mal estado de la red. Lo anterior reitera que, en el caso de la Ciudad de México, evaluar el acceso de la población al agua potable utilizando como indicador la cobertura de la red hidráulica es incongruente y de escasa utilidad para ilustrar la realidad de la problemática. Es de llamar la atención que actualmente no existe información de acceso público que permita detectar las irregularidades señaladas a escala alcaldía.

Al evaluar la capacidad adaptativa frente al acceso diferenciado al agua, es posible distinguir entre adaptaciones “positivas” y “negativas”, en función de si éstas, más allá de subsanar la falta de agua en el corto plazo, contribuyen o no a remediar el problema de manera permanente y atendiendo sus causas profundas, o si éstas actúan como un paliativo que incluso contribuye a la perpetuación o magnificación del problema en el mediano y largo plazo. De acuerdo con Adger et al. (2003), las primeras corresponden a adaptaciones que contribuyen a la transformación de la dinámica que ha generado el problema; mientras que las segundas, disminuyen el impacto de un problema particular en un momento dado, pero transfieren el riesgo a otros ámbitos, generan nuevas vulnerabilidades o magnifican la vulnerabilidad inicial en el largo plazo.

En este mismo sentido, conviene reflexionar acerca del papel de las capacidades de adaptación en la perpetuación de las deficiencias del sistema en una escala más amplia, como es la CDMX: ¿hasta dónde el hecho de que la población sea capaz de adaptarse a una condición indeseable promueve que las instituciones oficiales sean negligentes ante el problema?

Otro aspecto relevante resulta de cuestionarse; ¿quiénes ganan y quiénes pierden en que el sistema opere en su configuración actual? No debe perderse de vista que el agua es indispensable para todo ser humano y, por tanto, es un recurso altamente disputado en las arenas de poder social, económico y político. Como sugieren Ericksen et al. (2015), la transformación del sistema implica cambios significativos

en las relaciones de poder entre los distintos actores participantes, resultandos convenientes para algunos, pero no para otros.

En el contexto de la alcaldía de Iztapalapa, seguramente, aquellos beneficiados de que gran parte de la población no cuente con acceso regular a agua potable son, por un lado, aquellos que lucran directamente con el recurso, como servicios privados de provisión de agua mediante pipas y las potabilizadoras; y por otro, quienes se benefician indirectamente de la apremiante necesidad de la gente por acceder a este recurso, como organizaciones sociales o grupos políticos que capitalizan en peso político la posibilidad, o al menos la promesa, de solucionar este problema.

Conclusiones

Los hallazgos de este análisis podrían tener implicaciones para la formulación de políticas públicas orientadas a mejorar el acceso al agua potable en Iztapalapa. La visualización de la vulnerabilidad a través de mapas detallados tal como se presentan en los resultados de dicha propuesta proporciona una herramienta para los tomadores de decisiones, permitiéndoles identificar áreas prioritarias para la intervención así como diseñar estrategias efectivas y equitativas.

El análisis espacial bajo estas metodologías demuestra que la presencia y densidad de infraestructura hidráulica no garantiza el acceso al agua en cantidad y calidad suficiente en los hogares de Iztapalapa. Por lo anterior, uno de los principales retos que se dejan ver a partir de este tipo de estudios, es la necesidad de intervenciones integrales que combinen la mejora de la infraestructura hídrica que se traduzca en reducir fugas a lo largo de la red, así como la implementación de sistemas alternativos de suministro, como la captación de agua de lluvia y la reutilización de aguas grises.

Además, es fundamental que las políticas públicas no solo se centren en la reparación de la infraestructura hídrica, sino que también consideren las dinámicas sociales que perpetúan las desigualdades en el acceso al agua. La inclusión de la población local en la toma de decisiones puede mejorar la eficacia de las políticas implementadas, al asegurar que estas respondan a las necesidades reales de las comunidades, como lo referido anteriormente sobre los mecanismos de organización, instituciones y estructuras sociales que contrarrestan la sensibilidad que plantea (A.Sen, 1992). Las intervenciones deben ser multifacéticas, incluyendo mejoras en la infraestructura, la educación

y la capacidad de organización comunitaria para asegurar un acceso más equitativo y sostenible al agua en Iztapalapa.

En cuanto a la existencia de purificadoras, ésta es una alternativa que puede considerarse conceptualmente como mala adaptación, ya que funciona como un mecanismo que favorece el estancamiento en una trampa de pobreza. Puntualmente, estos establecimientos ponen al alcance de la población agua de mejor calidad, pero a un precio muy elevado. Esta situación, si bien es una alternativa, debe ser considerada como una responsabilidad de gobiernos locales y del propio gobierno de la ciudad.

Se observó una relación positiva entre el número de purificadoras y la problemática de carencia de agua, sin embargo, otra relación que resulta necesaria y apremiante explorar es si el agua de la que se abastecen estas purificadoras tiene origen en las fuentes de abastecimiento localizadas en la misma demarcación, ya que esto indicaría un fenómeno de acaparamiento. La información aquí mostrada, por medio de mapas y tablas, sugiere una fuerte correlación espacial entre los pozos y tanques, y purificadoras. Entre los factores más importantes de relación está la cercanía y la densidad de purificadoras, y densidad de fuentes de abastecimiento.

Dada la naturaleza de los sistemas de infraestructura como el sistema de aguas de la Ciudad de México, se reconocen relaciones muy complejas entre sus componentes tecnológicos y humanos, que no son evidentes. Por lo tanto, es necesario inferir algunas relaciones entre variables a partir del conocimiento previo del sistema, ya que los datos, por sí mismos, no muestran la complejidad de la realidad. No obstante, es interesante pensar en la posibilidad de cartografiar relaciones alternativas entre variables como una herramienta para la reflexión crítica sobre la manera en que funciona el sistema. Por lo tanto, la democratización de datos sobre los sistemas de infraestructura es un paso esencial en la estrategia de mejora de los servicios públicos en las ciudades.

Existen otros elementos que son vinculantes y deben ser considerados en el escenario para hacer frente a la problemática, por ejemplo. Existe un marco legal y de política pública que no se atiende: la política de desarrollo social de la Ciudad de México responde a lo dictaminado en la Ley de Desarrollo Social para el Distrito Federal (LDS-DF 2000) que prevé doce Principios fundamentales: 1) Universalidad, 2) Igualdad, 3) Equidad de Género, 4) Equidad Social, 5) Justicia Distributiva, 6) Diversidad, 7) Integralidad, 8) Territorialidad, 9) Exigibilidad, 10) Participación, 11) Transparencia y, 12) Efectividad. Si bien se realizan

esfuerzos en el sentido de incorporar estos principios, el problema de acceso al agua de buena calidad y en cantidades suficientes es un tema en el que no se cumplen. Yendo en un sentido más universal, sería pertinente además contrastarlo con la discusión enmarcada en el derecho humano al agua, dada la magnitud e importancia del tema.

Existe una relación estrecha entre falta de acceso al agua potable y condiciones de pobreza en la población. Las condiciones negativas en cuanto a niveles de bienestar social y servicios urbanos que han prevalecido durante décadas en la alcaldía de Iztapalapa son la acumulación de una ineficiente planeación y gestión del territorio, con consecuencias no sólo a nivel local sino regional y nacional.

El problema es de un nivel de complejidad alto, no depende únicamente de la cantidad de agua que pueda ser captada y trasladada a los hogares, ni de las condiciones físicas de las tuberías e infraestructura. Se trata, asimismo, de un problema multicausal y multiescalar; sólo con una gestión integral y coordinada de los recursos naturales, económicos y humanos, en la que no exista espacio para privilegios de grupo, será que el abasto de agua en la ciudad logre transitar a condiciones de equidad y equilibrio entre las personas y los subsistemas.

Los otros subsistemas relacionados al reto de cambiar la condición negativa en el abasto de agua están además en condición de amenaza y constante estrés. Algunos de los temas prioritarios para atender, relacionados con esta problemática, son: el crecimiento urbano en suelo de conservación, la contaminación y sobreexplotación del acuífero, la reducción de zonas lacustres y de regulación hidrológica, el manejo de residuos, sobre todo, los que contaminan suelo, atmósfera y agua.

El obstáculo más relevante para esta investigación fue el acceso a la información, debido a que es considerada información sensible o reservada, al ser un componente estratégico para el funcionamiento de la ciudad y el bienestar de sus habitantes. Sin embargo, el tener esta información reservada puede ser interpretado como un acto de corrupción. Esta aseveración implica reconocer que la condición negativa que prevalece no puede quedar expuesta ante otros sectores con capacidad de acción ante el problema, además de representar una estrategia opuesta a la gestión y gobernanza multiactor que en numerosas investigaciones se reconoce como una vía para la solución de problemas vinculados con recursos naturales.

El presente estudio sobre la vulnerabilidad por acceso diferenciado al agua potable en la alcaldía Iztapalapa proporciona una visión de las desigualdades socioespaciales que caracterizan esta problemática.

Finalmente, se destaca la necesidad de un enfoque territorial en la gestión del agua, que considere las particularidades de cada comunidad y fomente la participación activa de los habitantes en la toma de decisiones.

Bibliografía

- Adger, W. N., & Brooks, N. (2003). Does global environmental change cause vulnerability to disaster?. In M. Pelling, (eds.). *Natural disaster and development in a globalizing world* (pp. 19-42). Routledge.
- Cardona, O. (2004). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. En: G. Bankoff, (ed.). *Mapping vulnerability. Disasters, development & people* (pp. 37-51). Londres: Earthscan.
- Carpenter, S., & Brock, W. (2008). Adaptive capacity and traps. *Ecology and society*, 13(2).
- Carpenter, S., B. Walker, J. M. Anderies, & N. Abel. (2001). From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems*, 4(8), 765-781.
- Castro, J. E. (2007). El estudio interdisciplinario de los conflictos por el agua en el medio urbano: una contribución desde la sociología. *Cuadernos del CENDES*, (66), 21-46.
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2016*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2010). *El agua en México, cauces y encauces*. Comisión Nacional del Agua y Academia Mexicana de Ciencias.
- CONAPO. (2010). *Índice de marginación por localidad 2010*. Consejo Nacional de Población.
- Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal. Evalúa-CDMX, 2010 (2010). *Índice de Desarrollo Social de las Unidades Territoriales del Distrito Federal/IEDS (Delegaciones-Colonias-Manzanas)*.
- Crompton, J. L., & Lue, C. C. (1992). Patterns of equity preferences among Californians for allocating park and recreation resources. *Leisure Sciences*, 14, 227-246.
- Crompton, J. L., & Wicks, B. E. (1988). Implementing a preferred equity model for the delivery of leisure services in the U.S. context. *Leisure Sciences*, 7, 287-403.

- Eakin, H., & Luers, A. L. (2006). Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 31(1).
- Eakin, H. C., Lemos, M. C., & Nelson, D. R. (2014). Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change*, 27, 1-8.
- Eriksen, S. H., Nightingale, A. J., & Eakin, H. (2015). Reframing adaptation: The political nature of climate change adaptation. *Global Environmental Change*, 35, 523-533. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.014>
- Folke, C., J. Colding & F. Berkes. (2002). Building resilience for adaptive capacity in social ecological systems. En: F. Berkes, J. Colding & C. Folke, (eds.). *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2019). *Resolución de carácter general mediante la cual se determinan y se dan a conocer las zonas en las que los contribuyentes de los derechos por el suministro de agua en sistema medido, de uso doméstico o mixto, reciben el servicio por tandeo*.
- GDF. (2011). *Atlas de Riesgos de la Delegación Iztapalapa, 2011. Ciudad de México: Delegación Iztapalapa-Gobierno del Distrito Federal-Secretaría de Desarrollo Social*.
- Gobierno del Distrito Federal. (2008). *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Iztapalapa*. Corporación Mexicana de Impresión S.A de C.V.
- Harvey, D. (2013). *Ciudades rebeldes Del derecho de la ciudad a la revolución urbana*. Ediciones Akal.
- Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5), 390-405.
- INEGI. (2015). *Encuesta Intercensal 2015. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- INEGI. (2018). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2018*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Kaika, M. (2006). The political ecology of water scarcity: the 1989-1991 Athenian drought. En N. C. Heynen, & M. Kaika, (eds.). *In the nature of cities: urban political ecology and the politics of urban metabolism* (pp.157-152). Taylor & Francis
- Kloster, K. (2008). *La determinación de lucha por el agua en México: un análisis de los procesos nacionales y locales* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México].

- León-Portilla, M. (2005). *Aztecas-Mexicas: desarrollo de una civilización originaria*. Algaba.
- Manuel-Navarrete, D., Pelling, M., & Redclift, M. (2011). Critical adaptation to hurricanes in the Mexican Caribbean: Development visions, governance structures, and coping strategies. *Global Environmental Change*, 21(1), 249-258.
- Moreno Pérez, O. (2008). *Desarrollo económico y urbanización en el oriente de la Zona Metropolitana de la ciudad de México, 1980-2010*. FES Aragón/UNAM.
- Oliver, S. (2006). The desire to metabolize nature. En N. C. Heynen, & M. Kaika, (eds.). *In the nature of cities: urban political ecology and the politics of urban metabolism* (pp.93-109). Taylor & Francis.
- ONU-Habitat. (2016). *World Cities Report 2016: Urbanization and Development – Emerging Futures*. Organización de las Naciones Unidas.
- Pelling, M. (2003). *Natural disaster and development in a globalizing world*. Routledge.
- Penco, A. (2014). *Estudios jurídicos de aproximación del derecho latinoamericano y europeo*. Dykinson.
- PNUD. (2016). *Apoyo del PNUD a la implementación del objetivo de desarrollo sostenible 6. Gestión sostenible del agua y el saneamiento*.
- Plan hídrico de Iztapalapa. (2007). Server SINAT — Sitio perteneciente a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://n9.cl/zpl8g>
- Protección Civil (2014). *Atlas de peligros y riesgos de la Ciudad de México. Actualización de los mapas de riesgos*. Iztapalapa.
- SACMEX. (2016). *Diagnóstico logros y desafíos*. Helios comunicación, SA de CV.
- SACMEX. (2020, 29 de abril). Atención a Usuarios. <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/atencion-usuarios/tarifas>
- Schapira, M. F. P. (2001). Fragmentación espacial y social: conceptos y realidades. *Perfiles latinoamericanos: revista de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales*, (19), 33-56.
- Sen, A. (1992). *Inequality reexamined*. Clarendon Press.
- Talen, E. (2002). The social goals of new urbanism. *Housing policy debate*, 13(1), 165-188.
- Talen, E. (1998). Visualizing fairness: Equity maps for planners. *Journal of the American Planning Association*, 64(1), 22-38.

- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., & Polsky, C. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079.
- Walker, B., Gunderson, L., Kinzig, A., Folke, C., Carpenter, S., & Schultz, L. (2006). A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecology and society*, 11(1).