



Diotima, Revista Científica de Estudios Transdisciplinaria ISSN: 2448- 549.
Vol. 8 Núm. 23 mayo-agosto 2023

**EL ESTRÉS HÍDRICO EN MÉXICO: RETOS, ESTRATEGIAS Y
TENDENCIAS FUTURAS DE CÓMO ENFRENTAR EL DÍA CERO**
**WATER STRESS IN MEXICO: CHALLENGES, STRATEGIES AND FUTURE
TRENDS ON HOW TO FACE DAY ZERO**

Cristina Morales Figueroa

Facultad de Química, Unidad Colón, Toluca de Lerdo, Estado de México
llinaresh@uaemex.mx

Elia Alejandra Teutli-Sequeira

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA),
Universidad Autónoma del Estado de México, Unidad San Cayetano, Toluca,
Estado de México, México.
mmirandav@uaemex.mx

ORCID:0000-0002-0633-8892

Verónica Martínez-Miranda

Cátedras COMECYT-IITCA
ORCID:0000-0003-4977-9249

Luis Antonio Castillo Suárez

Cátedras CONACYT-IITCA.
ORCID:0000-0002-9755-7117

Ivonne Linares Hernández

ORCID:0000-0001-7302-8491

RESUMEN

El acceso seguro al agua, además de ser un derecho para el ser humano, es fuente de vida. Los recursos de agua se encuentran actualmente en un nivel de alta presión hídrica (> 80%) a nivel mundial, derivado de múltiples factores (sociales, económicos y ambientales). El análisis de países declarados en escasez total “Día cero” es ejemplo de la combinación de una deficiente infraestructura hidráulica, mala gobernanza y extremada sequía. Los resultados del estrés hídrico muestran el alto costo que puede ser tener acceso al recurso del agua de manera segura. Este artículo se centra en una revisión de literatura sobre los retos, estrategias y tendencias futuras de cómo enfrentar el colapso de los recursos hídricos “Día cero”.

Palabras clave: *Agua, Cambio climático,*

Calidad del agua, Derecho al agua.

ABSTRACT

Safe access to water, in addition to being a right for human beings, is a source of life. Water resources are currently at a level of high-water pressure (> 80%) worldwide, derived from multiple factors (social, economic, and environmental). The analysis of countries presented in total scarcity “Day zero” is an example of the combination of poor water infrastructure, poor governance, and extreme drought. The results of hydric stress show the high cost that can be to have access to the water resource in a safe way. This article focuses on a literature review on the challenges, strategies, and future trends of how to face the “Day Zero” collapse of water resources.



Keywords: *Water, Climate change, Quality of water, The water rights*

Fecha de envío: 07 de julio de 2022

Fecha de aceptación: 05 de Octubre de 2022

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo el agua ha representado la fuente de vida para todos los seres vivos, pero también de muerte cuando esta se encuentra escasa o contaminada. Solo el 1% de toda el agua del planeta tierra está disponible para consumo humano. A nivel mundial, América Latina es la región que cuenta con la mayor cantidad de agua dulce por persona, pero también es la más limitada por su consumo (Fernández, 2009).

El estrés hídrico amenaza cada vez más a países de todo el mundo (Canadá, Estados Unidos, México, Francia, Rusia, Italia, China, África, India, Brasil, Perú, Haití, República Dominicana, Nicaragua, Ecuador, Bolivia y el medio Oriente) es una situación multifactorial relacionada principalmente con las condiciones climáticas (altas temperaturas y disminución en la precipitación) inducido principalmente por las actividades antropogénicas debido al crecimiento exponencial de la población, extracción excesiva del vital líquido y la contaminación de los distintos cuerpos de agua que afecta la calidad del agua disponible (Tushar, *et.al*, 2017); (Craig, *et.al*, 2019).

Se estima que para el año 2050 alrededor de 1000 millones de personas estarán sin acceso a agua de calidad según datos del Banco Mundial. En la figura 1 muestra un esquema de los factores determinantes que desencadenan el día cero (Cheng, *et.al*, 2016).

El objetivo central de la siguiente revisión es presentar un panorama actualizado acerca de los retos, estrategias y tendencias futuras para enfrentar el día cero y los escasos de agua.



Figura 1. Factores determinantes del estrés hídrico que desencadenan el día cero.

RETOS

La gestión sostenible de los recursos hídricos considera la disponibilidad, uso y control del agua por región, este debe resolver problemas relacionados con el estrés hídrico y garantizar el acceso de agua a la población (Ngene *et.al*, 2021). Actualmente el requerimiento mundial de agua por año es entre 6000 y 7000 km³, mientras que el agua subterránea disponible a nivel mundial es de 70, 000, 000 km³ (Dwivedi, 2017). Durante los últimos años la excesiva extracción del agua subterránea en conjunto con la disminución considerable de las precipitaciones no han permitido que los niveles del agua puedan recuperarse, por lo que, la escasez se está presentando de manera alarmante cada vez en más lugares hasta ser casi total, lo que llamamos “Día Cero” (Warner and Meissner, 2021).

En los últimos años la tasa del agua municipal ha aumentado considerablemente derivado de la alta demanda de agua potable y por la pandemia COVID-19 (27% en Estados Unidos, 32% en el Reino Unido, 45% en Australia, 50% en Sudáfrica, 58% en Canadá y 20% en México). En Túnez, el precio del agua de riego se cuadruplicó en la última década (Saier, 2010); (Solís, 2005).

Cerca de 1/3 de la población en el mundo no tiene acceso a procesos centralizados de



tratamiento de aguas residuales lo que representa un riesgo a la salud y al ambiente derivado de la exposición de diversos contaminantes (orgánicos, inorgánicos y microbiológicos), por tal motivo es significativamente importante el desarrollo y aplicación de tecnología para el adecuado tratamiento de las aguas sanitarias (García, *et al.*2022). México genera 1 millón de litros de aguas residuales cada 4 segundos, sólo el 57 % de las aguas colectadas son tratadas; y sólo el 25 % de las plantas tratadoras funcionan de manera adecuada (Mazari y Noyola, 2018).

De acuerdo con el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), de los 189 países, México ocupa el lugar 24 con alto índice promedio de estrés hídrico (3.86), el segundo con mayor índice de América Latina, de sus 32 estados, 15 presentan un promedio extremadamente alto (>80%), 10 entidades presentan un índice mayor a 4.6, Baja California encabeza la lista seguido de Guanajuato y en tercer

lugar Ciudad de México, de acuerdo a los datos proporcionados en la página oficial Agua.org.mx.

México cuenta actualmente con 126,014,024 número de personas y recibe aproximadamente 1, 449 ,471 millones m³ de agua en forma de precipitación, sin embargo, derivado de la mala infiltración en algunas regiones del país (< 6.2%), de los 653 acuíferos, 106 son actualmente sobreexplotados; esto se explica por el crecimiento poblacional en conjunto con las consecuencias climáticas (aumento de temperatura en 0.93 °C desde 1951 a 2017) y la disminución de la precipitación (70 mm promedio por año) (Murray, 2021); (CONAGUA, 2020).

En la Tabla 1 se reportan estudios de contaminación, alto estrés hídrico y día cero, sus causas, efectos y sus propuestas para enfrentar los retos de la escasez del agua.

Tabla 1. Principales hallazgos en estudios de contaminación, alto estrés hídrico y día cero.

| Autor/ País | Causas | Efectos | Medidas de mitigación |
|---|---|---|--|
| Flint, Michigan, Estados Unidos (Pauli, 2020). | Contaminación por plomo (5-6.5 veces arriba de la norma) EPA (0.01mg/L), por mal funcionamiento de la planta tratadora. Crecimiento bacteriano por dosis de cloro bajas. Aplicación desigual de la ley (50% de la población afroamericana, racismo ambiental se ve afectada). Tuberías grandes para abastecer 200,000 personas. Migración: 50% de las personas. | Presencia de plomo en niños aumento de 2.4 % al 4.9 %. Se relacionaron problemas en la piel por ingesta de agua contaminada. | Reemplazo de líneas de servicio (plomo y acero galvanizado) por donaciones estatales y federales. Programas nutricionales destinados a mitigar los efectos del plomo en el cuerpo. Ayudo a promover la disminución de los estándares de niveles de plomo en leyes federales. |



| | | | |
|---|--|---|--|
| | Falta de recursos en mantenimiento. | | |
| Ciudad del Cabo, Sudáfrica (Millington and Scheba ,2021). | Sequía hidrológica. Fallas técnicas en medidores de agua. Falta de financiación. Deterioro en infraestructura. | Aumento de la demanda de agua. Niveles de represas 20 % menos. Restricción del 42% de uso de litros/persona (50 L) | Modificación a las estructuras tarifarias rand (R) (52.90 por kilolitro) y retiro de subsidio. Campañas de concientización al uso racional del agua. |
| Shimla, India. Hothi and Hothi, 2022). | Destrucción del ecosistema natural de Shimla (tala de 34.000 árboles verdes), este ecosistema absorbe lluvia y aguas pluviales, mejora la calidad del aire y es quien abastece a una población de 20,000 personas. | Desecación de canales de agua que alimentan arroyos y manantiales por disminución de la percolación. 70% de fugas de agua por el mal mantenimiento en tuberías. El arroyo Nauti Khadd redujo su recarga de 19,000,000 a 9,390,000 L/día en 2018. | El remplazo de 12 bombas y 7 km (desde el parque nacional Craig nano hasta Dhalli) de tuberías gastadas en oleoducto represento un ahorro de 35 MLD. Sustitución del oleoducto del Río Girí (cerrando la fuga). |
| Tanzania, África (Mnaya et al.,2021) | Las actividades humanas realizadas en el río en conjunto con la ganadería (5.9% de ganado) afectan la calidad del agua. Extracción excesiva de agua subterránea. | Desecación de los humedales (3.6 cm/año). | Se retiró 1 millón de cabezas de ganado, aumentando 2.4 cm por año el nivel del agua. Eliminación de 46 presas ilegales (genero un aumento de 2m de nivel de agua por año) |
| Norte de México (Esparza,2014). | Distribución inequitativa del agua en el Norte-limitada (1,835 m ³), Sur-abundante (13,290 m ³). Sobre explotación de agua subterránea (60%) Agua altamente contaminada (24%) Sequía meteorológica (44.8%) | Pérdida de 6,000,000 de hectáreas de cultivo de maíz (9,000 millones de pesos) y frijol (16,000 millones de pesos) en todo el país 50 indígenas tarahumaras en Chihuahua se suicidaron. 80 mil campesinos de Durango migraron por falta de ingresos. El aumento en los precios de alimentos fue de 40.3%. | La SEDESOL y SEMARNAT implementan “seguro catastrófico” para proteger el patrimonio de agricultores y ganaderos Autorizan la perforación de más pozos. Las acciones por el gobierno Federal fueron paliativas y no directas a enfrentar la |



| | | | |
|-----------------------------------|---|--|---|
| | | 1 millón de reses muertas. | sequía y escasez del agua. Esperaban nueva temporada de lluvias para mitigar escasez. |
| Chiapas, México (Mariscal, 2022). | 130 comunidades en la zona de los altos de Chiapas presentan mal funcionamiento en sistemas de agua potable. Deterioro de infraestructura hídrica y falta de mantenimiento al alcantarillado. Reducción del 90 % en inversión de sistemas de agua potable. | 5 Lagunas y 47 ríos contaminados por desechos humanos. 274 000 personas con enfermedades gastrointestinales en 2019 por agua contaminada debido a falta de drenajes y sistema de alcantarillado. | Captación de agua de lluvia de manera improvisada. Creación de patronato y un comité de gestión comunitaria del agua, para dar acceso al agua. 1er Encuentro Interestatal de Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua y Saneamiento. Soluciones para el acceso al agua requiere de la tecnología, procesos sociales y la participación comunitaria. |
| CDMX, México. (Godoy, 2021) | Uso intenso de agua como resultado del impacto de las actividades humanas sobre el recurso (1978 m ³ /persona al año, cuando la media global es 1385). Crecimiento exponencial (más de 8 millones de habitantes) Presupuesto de Conagua disminuyó en al menos 50% entre 2015 y 2021. | CDMX ocupa el 3er lugar del país con mayor estrés hídrico (4.9) 33 % de extracción de agua renovable de varios estados. Mayor obstáculo para lograr la meta de agua limpia y saneamiento para toda la población, el sexto Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados por Naciones Unidas en 2015 a cumplirse para 2030. | Se creó el “Programa Nacional Estratégico para el Conocimiento y Gestión de Cuencas de Agua para el Bien Común y la Justicia Ambiental”. 47 proyectos de la gestión del agua. Se construyeron 12 consensos con la iniciativa ciudadana. |



ESTRATEGIAS

La captación de agua de lluvia dentro de la gestión del suministro basada en la mejora de la infraestructura ofrece una estrategia que permite el aumento de almacenamiento del agua, garantizando una buena calidad (Torres, 2019) y puede contribuir a reducir el estrés hídrico relacionado con el clima, evitando el uso o sobreexplotación de otras fuentes de agua como acuíferos y aguas superficiales (Tamagnone, *et.al* 2020).

La existencia, aplicación y mejora de una normativa del cuidado y protección del recurso del agua en el control de desechos peligrosos de uso doméstico (plaguicidas, aceites, medicamentos, pinturas) al desagüe, suelo o alcantarillas permitirá reducir la contaminación de cuerpos de agua y agua subterránea (EPA, 1997).

Fomentar la responsabilidad ambiental administrativa o empresarial (implementación de sistemas de gestión ambiental para disminuir la contaminación durante los procesos utilizando productos amigables con el ambiente y su tratamiento), civil (actos de reciclaje como, no lavar el auto con manguera, cerrar la llave mientras te lavas los dientes, aprovechar el agua para el riego de plantas y jardín, ajustar el nivel de agua de la lavadora) y penal (autoridades reguladoras y sancionadoras en pro de la naturaleza) (PROFEPA, 2013).

El desarrollo de tecnología y personal capacitado en las plantas tratadoras de agua residual aportará un mayor

porcentaje de agua de buena calidad, libre de contaminantes peligrosos evitando así causar daños a la salud (Pauli, 2020).

Nuevos y mejores planes de desarrollo urbano que busquen un equilibrio social, económico y ambiental, lograrán ciudades más sostenibles que no comprometan los recursos naturales en un futuro.

TENDENCIAS FUTURAS

Los gobiernos han reportado la nula participación de la población en el cuidado del recurso del agua (Booyesen, *et.al*, 2019). Por lo que se debe promover aún más las campañas de concientización en el uso racional del recurso, así como en la generación de nuevas estrategias para la disminución de productos contaminantes presentes en el agua (tratamiento a un mayor número de aguas residuales, la conservación de cuerpos de agua)

Nuevas reformas políticas locales y federales son necesarias para mitigar la sobre explotación de los distintos cuerpos de agua que permitan erradicar la desigualdad de la distribución del recurso vital y mejorar la administración en la recaudación del pago por servicio del agua; así como la implementación de planes de mantenimiento a la infraestructura hídrica evitando mortalidad en la población por metales pesados y/o carga microbiana.

Nuevas tecnologías para el



tratamiento y acondicionamiento de otras fuentes de agua natural son necesarias. La captación y tratamiento del agua de lluvia ofrece una opción atractiva (Tamagnone, *et.al*, 2020), esta y otras fuentes deben ser exploradas para su uso sanitario, estableciendo lineamientos en cuanto a su calidad

acciones gubernamentales y sociales que permitan una recuperación de los acuíferos, por lo que nuevas políticas y tecnologías deben ser desarrolladas en un futuro a corto plazo.

CONCLUSIONES

El estrés hídrico actual en el mundo y México son reflejo de las actividades repetitivas de una mala gobernanza que representa un reto importante y que resulta en una administración ineficiente del recurso vital y políticas públicas no exitosas para la adecuada distribución del agua y el mantenimiento de su infraestructura.

Por el contrario, garantizar la calidad, distribución adecuada, mantenimiento en tuberías y buen precio del agua es parte de las acciones y estrategias de un buen gobierno a favor de la esfera social, económica y ambiental.

Por otro lado, el crecimiento acelerado del calentamiento global registrado en la última década es el resultado de la falta de planeación en el desarrollo de la urbanización, la eliminación y reducción de los ecosistemas que funcionan como amortiguadores ante el cambio climático, la contaminación generada por las actividades antropogénicas que alteran gravemente la calidad del agua en cuerpos superficiales, limitando fuertemente su disponibilidad.

El daño por las sequías meteorológicas es “acumulativo y crónico” por lo que es necesario



REFERENCIAS

- Agua.org.mx, "Los estados de México que se acercan al 'Día Cero' del agua," Mexico, 2019. [Online]. Available:
<https://agua.org.mx/los-estados-de-mexico-que-se-acercan-al-dia-cero-del-agua-milenio/>.
- Booyesen, M.J et.al (2019). "Temporal case study of household behavioural response to Cape Town's 'Day Zero' using smart meter data," *Water Res.*, vol. 149, pp. 414–420, 2019, doi: 10.1016/j.watres.2018.11.035
- Cheng. L. et.al (2016). "How has human-induced climate change affected California drought risk?," *J. Clim.*, vol. 29, no. 1, pp. 111–120, 2016, doi: 10.1175/JCLI-D-15-0260.1.
- CONAGUA, (2020). "Estadísticas del Agua en México 2019," 2019.
- Craig. C. A. et.al (2019). "Water crisis, drought, and climate change in the southeast United States," *Land use policy*, vol. 88, no. March, p. 104110, 2019, doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104110.
- Dwivedi. A.K (2017). "© Associated Asia Research Foundation (AARF) Researches in water pollution: a review," *Int. Res. J. Nat. Appl. Sci.*, vol. 4, no. January, pp. 118–142, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.12094.08002.
- EPA (1997). "RCRA: Reduciendo el Riesgo de Residuo," 1997.
- Esparza M (2014). "La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras," *Secuencia*, no. 89, p. 195, 2014, doi: 10.18234/secuencia.v0i89.1231
- Fernández C.G (2009) La crisis del agua en América Latina Gustavo Fernández Colón," *Rev. Estud. Cult.*, vol. 4, pp. 80–96.
- García E. et al. (2022). "Electro-Fenton systems for 'on-site' sanitary wastewater treatment: Towards an off-grid technology for developing countries," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 107954, 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.107954.
- Godoy E. (2021). "México, entre el acaparamiento de agua y la sequía," *Inter Press Service*, Cdmx, México, Jun. 2021.
- Hothi N and Hothi G (2022). "Water crisis of Shimla Town: Past and present scenario," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.715.
- Mariscal A. (2022). "Paradoja del sur de México: tener millones de litros de agua y no poder usarla," *Inter Press Service*, Chipas, México, Sep. 2022.
- Mazari M. y Noyola A. (2018). "Problemática y política del agua," *La Jornada Ecológica*.
- Millington N. and Scheba S. (2021). "Day Zero and The Infrastructures of Climate Change: Water Governance, Inequality, and Infrastructural Politics in Cape Town's Water Crisis," *Int. J. Urban Reg. Res.*, vol. 45, no. 1, pp. 116–132, 2021, doi: 10.1111/1468-



- 2427.12899.
- Mnaya B *et al.*, (2021). "Are Tanzanian National Parks affected by the water crisis? Findings and ecohydrology solutions," *Ecohydrol. Hydrobiol.*, vol. 21, no. 3, pp. 425–442, 2021, doi: 10.1016/j.ecohyd.2021.04.003.
- Murray T. G (2021). "Seven decades of climate change across Mexico," *Atmosfera*, vol. 34, no. 2, pp. 217–226, 2021, doi: 10.20937/ATM.52803.
- Ngene B.U *et.al* (2021). "Assessment of water resources development and exploitation in Nigeria: A review of integrated water resources management approach," *Heliyon*, vol. 7, no. 1, p. e05955, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e05955.
- Pauli P.J.(2020). "The Flint water crisis," *Wires Water*, vol. 7, no. 3, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1002/wat2.1420.
- PROFEPA, (2013). "Ley federal de responsabilidad ambiental," *D. Of. la Fed.*, p. 17, 2013.
- Saier. M.H. (2010). "Water crises," *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 205, no. SUPPL.1, pp. 27–28, 2010, doi: 10.1007/s11270-007-9427-8.
- Solís M.L (2005). "Economía UNAM," *Econ. UNAM*, vol. 2, no. 6, pp. 24–42, 2005, [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2005000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Tamagnone, P. *et.al* (2020). "Rainwater harvesting techniques to face water scarcity in african drylands: Hydrological efficiency assessment," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, 2020, doi: 10.3390/w12092646.
- Torres L. (2019). "Opciones para mitigar la escasez de agua potable en Colombia.," 2019, [Online]. Available: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/984>.
- Tushar A. *et.al* (2017) Understanding the Role of Climate Characteristics in Drought Propagation, *Water Resour. Res.*, vol. 53, no. 11, pp. 9304–9329, doi: 10.1002/2017WR021445.
- Warner J.F and Meissner R (2021). "Cape Town's 'Day Zero' water crisis: A manufactured media event?," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 64, p. 102481, 2021, doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102481.