

# Agua, cambio climático y eventos extremos

Artículos de difusión  
seleccionados  
2017-2021

Editores:

Polioptro F. Martínez Austria

Regina Mijares Fajardo

David Eduardo Guevara Polo



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



UNESCO Chair on  
Educational, Scientific and  
Hydrometeorological Risks,  
Universidad de las Américas Puebla

**UDLAP**<sup>®</sup>







United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

UNESCO Chair on  
Hydrometeorological Risks,  
Universidad de las Américas Puebla

**UDLAP**<sup>®</sup>



# Agua, cambio climático y eventos extremos

Artículos de difusión  
seleccionados  
2017-2021



**UDLAP**<sup>®</sup>

D. R. © 2022 Fundación Universidad de las Américas, Puebla  
Ex hacienda Santa Catarina Mártir s/n, San Andrés Cholula,  
Puebla, México, 72810  
Tel.: +52 222 229 20 00  
[www.udlap.mx](http://www.udlap.mx)  
[editorial.udlap@udlap.mx](mailto:editorial.udlap@udlap.mx)

Primera edición: mayo de 2022  
ISBN: 978-607-8674-60-2

Diseño: Guillermo Pelayo Olmos

Queda prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio del contenido de la presente obra, sin contar con autorización por escrito de los titulares de los derechos de autor.

El contenido de este libro, así como su estilo y las opiniones expresadas en él, son responsabilidad del autor y no necesariamente reflejan la opinión de la UDLAP.

Publicación electrónica.

# Agua, cambio climático y eventos extremos

Artículos de difusión  
seleccionados  
2017-2021

---

Editores:

Poliopetro F. Martínez Austria

Regina Mijares Fajardo

David Eduardo Guevara Polo



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



UNESCO Chair on  
Hydrometeorological Risks,  
Universidad de las Américas Puebla

**UDLAP**®







*En memoria del Dr. Polioptro Fortunato Martínez Austria.*

---

# Índice

## **14 Presentación**

Polioptro F. Martínez Austria

Regina Mijares Fajardo

David Eduardo Guevara Polo

## **Riesgos hidrometeorológicos**

### **18 El Niño Oscilación del Sur y sus efectos sobre la precipitación en México**

David Eduardo Guevara Polo

Regina Mijares Fajardo

### **34 Precipitaciones extremas e inundaciones causadas por marea alta en Norteamérica**

Pedro Andrés Sánchez Gutiérrez

### **42 La antorcha de Chaac. Los mayas y el clima**

Uxmal Rodríguez Morales

### **52 Los once huracanes más intensos que han afectado a México**

David Eduardo Guevara Polo

### **62 Riesgos hidrometeorológicos en México**

Polioptro F. Martínez Austria

---

## **Cambio climático**

**78 Frío extremo en el norte de México**

David Eduardo Guevara Polo

**88 ¿Qué comer en un mundo que hierve?**

**Alimentos que contribuyen al cambio climático**

María Elena Cerecedo Arroyo

**98 La sequía en México durante 2019**

Regina Mijares Fajardo

**104 Probable effects of climate change  
on infectious diseases in North America**

José Luis Sánchez Salas

Ana Margarita Maldonado Barragán

Silvia Reyna

**128 Ondas de calor y cambio climático: efectos en México**

Poliopetro F. Martínez Austria

---

## Otros temas relacionados con la Cátedra

**142 Los niños y el agua**

María de los Ángeles Areli Piña Ramírez

**148 COVID-19: impacto ambiental**

Regina Mijares Fajardo

**156 Deforestación en México:  
llegar con vergüenza al futuro**

Pedro Andrés Sánchez Gutiérrez

**164 Mitigación de riesgos hidrometeorológicos  
para casa habitación en México**

Guillermo Einar Moreno Quezada

**174 Perspectiva actual y futura de los recursos hídricos  
en la cuenca del río Bravo**

Paul Hernández Romero

Carlos Patiño Gómez

**184 Semblanzas**

---

# Presentación

Poliopro F. Martínez Austria

Regina Mijares Fajardo

David Eduardo Guevara Polo

Las cátedras UNESCO son uno de los instrumentos más importantes de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura para generar y transmitir conocimiento y capacidades en los temas prioritarios para la institución, los cuales son definidos por los países miembros. Realizan actividades de formación, difusión del conocimiento, investigación e intercambio de información vinculadas con los programas pertenecientes a las principales áreas de la UNESCO: educación, ciencias naturales, ciencias humanas y sociales, cultura y comunicación, e información. Las cátedras UNESCO en agua son coordinadas por la División de Ciencias del Agua de la organización, en particular, por el Programa Hidrológico Internacional (PHI).

Las cátedras UNESCO se otorgan a grupos de investigación de prestigio internacional quienes concentran sus estudios en algún tema de prioridad para el mundo. Es el caso de la Universidad de las Américas Puebla, que obtuvo la autorización de la UNESCO para la creación de la Cátedra UNESCO-UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos.

La Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos tiene como institución sede a la Universidad de las Américas Puebla, y está constituida por un grupo académico internacional integrado por investigadores de diversas instituciones de México y otros países.

Una de las líneas de actuación más importantes de la Cátedra es la difusión del conocimiento. De esta manera, al cumplirse cinco años de su operación, deseamos reconocer la colaboración de los miembros que han contribuido mediante la publicación de diversos artículos en las plataformas de la Cátedra y de la Universidad: el boletín de la Cátedra, el blog de Riesgos Hidrometeorológicos y la revista *Entorno UDLAP*.

Con este propósito, bajo el título general *Agua, cambio climático y eventos extremos. Artículos de difusión seleccionados 2017-2021*, se han agrupado artículos que quedan como referencia en una sola edición. De esta manera, continuamos cumpliendo nuestro compromiso de difusión del conocimiento en riesgos hidrometeorológicos, cambio climático y otros temas relevantes relacionados con la Cátedra.



NO  
PARKING  
ANYTIME  
←

SEAFOOD

SEAFOOD



# El Niño Oscilación del Sur y sus efectos sobre la precipitación en México<sup>1</sup>

David Eduardo Guevara-Polo  
Regina Mijares-Fajardo

---

► 1. Artículo publicado en agosto de 2021 en el número 15 de la revista *Entorno UDLAP*.



El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) es un sistema oceánico-atmosférico que influye en el clima global. Lo que permite que este fenómeno oscile entre la fase negativa (La Niña) y la fase positiva (El Niño) son procesos de retroalimentación entre el océano y la atmósfera, los cuales han sido descritos por un modelo matemático. Existen diversos estudios que documentan sus efectos en la precipitación en México. En general, se ha reportado que en la mayor parte del territorio mexicano El Niño (La Niña) produce condiciones secas (húmedas) durante el verano mientras que, durante el invierno, causa condiciones húmedas (secas). Conocer este fenómeno es importante pues abre la posibilidad de observar tendencias en el clima, especialmente antes de que ocurran fenómenos hidrometeorológicos extremos como sequías e inundaciones, y permite, así, tomar mejores decisiones sobre la gestión integrada del agua.

## INTRODUCCIÓN

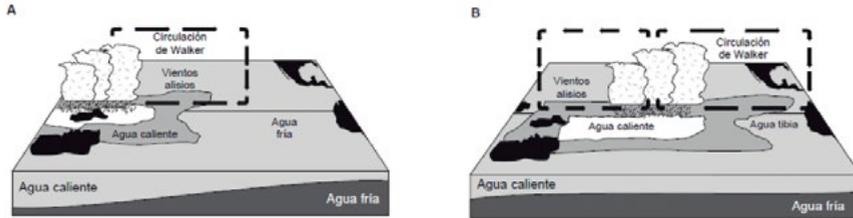
El capitán de navío y vicepresidente de la Sociedad Geográfica de Lima, Camilo N. Carrillo, informó a sus colegas, miembros de esa sociedad, sobre la ocurrencia de una corriente oceánica muy cerca de las costas de Chile y Perú. El capitán reportó que los marinos originarios de la ciudad peruana de Paita habían detectado esa corriente, decían que se hacía «más visible y palpable después de la Pascua de Navidad» y por esa razón, la habían bautizado como El Niño. Esto se publicó en el *Boletín de la Sociedad Geográfica* de Lima en 1892 y es el primer registro escrito del fenómeno de El Niño. Desde entonces, El Niño ha sido uno de los fenómenos climáticos más estudiados debido a los impactos que tiene en el clima global. Hoy se sabe que la corriente oceánica de El Niño se acopla con una corriente atmosférica llamada Oscilación del Sur. A este sistema acoplado se le nombra El Niño-Oscilación del Sur y se distingue por sus siglas en inglés ENSO. El presente artículo tiene el objetivo de describir los procesos físicos que dan origen a este fenómeno e identificar sus efectos en la precipitación en México.

## PROCESOS FÍSICOS QUE DAN LUGAR A EL NIÑO

Existen dos circulaciones en la atmósfera tropical: la circulación de Hadley, en la dirección norte-sur y la circulación de Walker, en la dirección este-oeste

(Stechmann y Ogrosky, 2014). En la segunda, el componente dominante es el del Pacífico, que consiste en vientos del este en la tropósfera baja (vientos alisios), los cuales, después de recibir calor y humedad de las aguas cálidas, ascienden en un proceso adiabático sobre el Pacífico oeste, para luego desplazarse hacia el este en la tropósfera alta (vientos contralisios) y, finalmente, descender sobre el Pacífico este (Bjerknes, 1969; Lau y Yang, 2015). Ahora bien, la circulación de Walker forma parte de la Oscilación del Sur (Bjerknes, 1969), el componente atmosférico del sistema acoplado de ENSO. La Oscilación del Sur se refiere a la variación en la presión atmosférica al nivel del mar entre las regiones este y oeste del Pacífico tropical en una escala interanual (Ren *et al.*, 2020; Wang, 2018) mientras que El Niño, componente oceánico de ENSO, se refiere a las anomalías de temperatura del océano en el este y centro del Pacífico tropical (Ren *et al.*, 2020). En general, el océano intercambia calor sensible, calor latente y radiación de onda larga con la atmósfera, mientras que la atmósfera, a través del esfuerzo ocasionado por los vientos, transfiere momentum al océano (Ren *et al.*, 2020). Esta interacción océano-atmósfera es la que da lugar a la ocurrencia de ENSO, como se describe enseguida.

Partamos del siguiente escenario: una zona del océano cerca de Australia es más cálida que el resto del océano. Ahora bien, lo que mantiene a esa zona de agua cálida en su sitio es la circulación de Walker. Además, debido a que la zona de agua caliente se mantiene lejos de la costa de América del Sur, comienza el afloramiento de agua profunda, más fría, cerca de América del Sur (figura 1a), lo cual da origen a un gradiente de temperatura en las profundidades del océano llamado termoclina. Lo que sucede en el fenómeno ENSO es que los cambios en la temperatura superficial del océano modifican la convección atmosférica e inducen anomalías en los vientos de la zona (Okumura, 2019). Estas anomalías en los vientos impulsan cambios en la corriente oceánica, intensificando los cambios en la temperatura superficial del océano (Wang, 2018) y, también, el abatimiento del afloramiento en la región ecuatorial y la profundización de la termoclina en el Pacífico este (Ren *et al.*, 2020). En la fase cálida de ENSO, por ejemplo, las anomalías en la temperatura superficial del océano Pacífico este y oeste son positivas, lo cual desencadena una transferencia de calor del océano a la atmósfera regional y un calentamiento de la zona de agua fría; al ser esta última la base de la circulación de Walker, los vientos se debilitan, así como el afloramiento de agua fría (Fang y Xie, 2020), como se ilustra en la figura 1b.



**Figura 1.** Ilustración del fenómeno ENSO. A) Normal, B) Durante años de El Niño.

Reproducida de Magaña-Rueda, Pérez y Conde (1998).

Este proceso de retroalimentación positiva fue propuesto por Bjerknes (1969) y es el mecanismo más importante que da lugar a ENSO (Ren *et al.*, 2020). Sin embargo, este mecanismo no explica por qué ENSO puede tener variaciones en la intensidad y, además, cambiar de fase (Fang y Xie, 2020). Para que puedan existir oscilaciones en la fase de ENSO se requiere que haya procesos de retroalimentación negativa (Wang, 2018). En ese sentido, existe la hipótesis de que ENSO es un fenómeno que tiene múltiples mecanismos de retroalimentación negativa y, entonces, se han reunido cuatro teorías para explicar su naturaleza oscilatoria: la teoría del oscilador retrasado, la teoría del oscilador de recarga-descarga, la teoría del oscilador del Pacífico oeste y la teoría del oscilador advectivo-reflectivo (Wang, 2018). Los modelos que describen los últimos tres mecanismos fueron propuestos anteriormente por Jin (1997a, 1997b), Weisberg y Wang (1997) y Picaut *et al.* (1997), respectivamente y el modelo matemático que une estas teorías fue propuesto por Wang (2001):

$$dT/dh = a \cdot \tau_1 - b_1 \cdot \tau_1 \cdot (t - \eta) + b_2 \cdot \tau_2 \cdot (t - \delta) - b_3 \cdot \tau_1 dt = \cdot (t - \mu) - \varepsilon \cdot T^3 \quad (1)$$

$$dh/dt = -c \cdot \tau_1 \cdot (t - \lambda) - Rh dt = \cdot h \quad (2)$$

$$d\tau_1/dT = -R\tau_1 \cdot \tau_1 dt = (3)$$

$$d\tau_2/dt = e \cdot h - R\tau_2 \cdot \tau_2 dt = (4)$$

En este sistema de ecuaciones diferenciales, T representa las anomalías de temperatura superficial del océano, h la profundidad de la termoclina cerca del Ecuador y  $\tau_1$  y  $\tau_2$  las anomalías en el esfuerzo cortante del viento en el Pacífico central y Pacífico oeste, respectivamente. Los coeficientes del modelo son

constantes (Wang, 2018). Es importante destacar las interrelaciones que existen entre las variables, características del sistema climático. Sin embargo, el modelo tiene límites puesto que utiliza un enfoque lineal y produce oscilaciones periódicas, que no describen adecuadamente el fenómeno de ENSO (Fang y Xie, 2020; Wang, 2018). De esta manera, se ha sugerido que ENSO puede cambiar de un estado oscilatorio con grandes intensidades a un estado caótico que carece de ellas (Guckenheimer *et al.*, 2017).

Asimismo, hay otros fenómenos climáticos que ocurren en distintas regiones del planeta y que también influyen en el comportamiento de ENSO. Estos procesos pueden ser ciclones y anticiclones en el Pacífico oeste; ráfagas de viento provenientes del Pacífico oeste; la Oscilación de Madden-Julian, que se origina en el océano Índico y genera anomalías de esfuerzo cortante del viento en el Pacífico oeste, afectando la fuerza ascendente de la circulación de Walker; el Niño Atlántico, que genera anomalías en los esfuerzos cortantes de los vientos del oeste en el Pacífico central y oeste a través del modo de Matsuno-Gill (Fang y Xie, 2020).

## EFFECTOS DE EL NIÑO SOBRE LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO

ENSO es el modo océano-atmosférico a gran escala que tiene mayores afectaciones en la variabilidad interanual del clima global (Díaz-Esteban y Raga, 2018). Este índice climático afecta a la mayoría de los patrones de precipitación y temperatura en el planeta (ipcc, 2007) a través de teleconexiones, que son asociaciones estadísticas entre variables climáticas perceptibles en zonas espacialmente separadas. En México, gran parte de la variabilidad climática está asociada a la ocurrencia de este fenómeno (Méndez *et al.*, 2010). Siendo así, en esta sección se resumirán los efectos que tienen El Niño y La Niña en la precipitación del país.

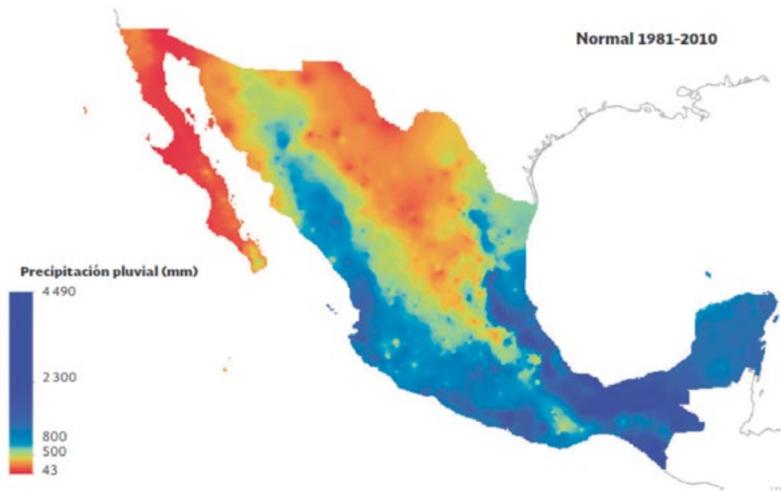
En la tabla 1 se muestran las anomalías de precipitación que se le han atribuido a ENSO durante las temporadas de invierno y verano. Los periodos húmedos están asociados a anomalías de precipitación positiva, mientras que los periodos secos se relacionan con anomalías de precipitación negativa. Una anomalía de precipitación se refiere a una desviación con respecto a la precipitación promedio que se registra en un lugar; en este caso, en la zona referida. Para esta cuestión, se dividió el territorio nacional en dos zonas principales: norte y centro-sur, ya que la mayoría de los autores coincide en que periodos secos en el norte de México corresponden a periodos húmedos en el sur y viceversa (Méndez y Magaña, 2010).

Región del país	Temporada	Fase de enso	Condi-ción	Referencia
Norte	Verano	El Niño	Húmedo	(Seager <i>et al.</i> , 2009; Stahle <i>et al.</i> , 2012).
		La Niña	Seco	(Campos <i>et al.</i> , 2020).
	Invierno	El Niño	Húmedo	(Torbenson <i>et al.</i> , 2019; Stahle <i>et al.</i> , 2020; Seager <i>et al.</i> , 2009).
		La Niña	Seco	(Parazoo <i>et al.</i> , 2015; Torbenson <i>et al.</i> , 2019; Seager <i>et al.</i> , 2009).
Centro y sur	Verano	El Niño	Seco	(Méndez y Magaña, 2010; Stahle <i>et al.</i> , 2012; Cavazos, 2020; Seager <i>et al.</i> , 2009).
		La Niña	Húmedo	(Caso <i>et al.</i> , 2007; Park <i>et al.</i> , 2017; Cavazos, 2020; Méndez y Magaña, 2010).

**Tabla 1.** Anomalías de precipitación en México forzadas por ENSO.

Dicho lo anterior, se puede describir la tabla 1. Se observa que, en general, en la temporada de verano El Niño tiene efectos asimétricos en el país ya que suele estar acompañado de mayores precipitaciones en el norte y de periodos secos en centro y sur. Inversamente, en invierno, una fase positiva de ENSO provoca anomalías de precipitación positivas en la región norte mientras que existen conclusiones divergentes de los autores sobre los efectos que produce en el centro-sur de México: por un lado, Seager *et al.* (2009) y Cerano-Paredes *et al.* (2013) sugieren que El Niño favorece la ocurrencia de inviernos húmedos y, por otro, Magana *et al.* (2003) afirman que causa inviernos secos. Ahora bien, durante un evento La Niña, se producen inviernos y veranos secos en el norte del país, mientras que en el centro-sur se presentan veranos húmedos. Al igual que con El Niño, existe controversia sobre los efectos que este evento tiene en el centro-sur del país durante el invierno.

Todas estas relaciones resumen las conclusiones a las que se ha llegado en la mayoría de los estudios sobre el tema, citados en la tabla 1. Ahora bien, las conclusiones divergentes entre distintos autores sobre la influencia de ENSO en la precipitación en México surgen, ya que resulta complicada la tarea de interpretar el carácter no lineal del clima, como es el caso de los efectos de ENSO durante el invierno en el centro-sur. Eso explica por qué no se muestran en la tabla 1.



**Figura 2.** Distribución de la precipitación en México para el periodo 1981-2010. Reproducida de Conagua (2018).

Además de las relaciones mencionadas anteriormente, algunos autores han observado que la teleconexión de ENSO con la precipitación en México tiene una influencia mayor en el centro y sur del país, mientras que sus efectos son menos perceptibles en el norte (Mendoza *et al.*, 2005; Lachniet *et al.*, 2012; Llanes-Cárdenas *et al.*, 2018). También, Magaña, Pérez y Conde (1998) sugieren que los efectos de mayor magnitud ocurren durante la temporada de invierno y, particularmente, durante un evento de El Niño. Por otro lado, aunque los efectos de ENSO pueden ser menos notorios en el norte, la reducción de precipitaciones en la zona podría traer consecuencias más significativas en comparación con otras regiones del país.

Lo anterior puede explicarse si se analiza la variabilidad de la precipitación en México, esto permitirá entender mejor los efectos de ENSO en las diferentes regiones del país. Como se muestra en la figura 2, en la región norte y noroeste de México la precipitación es mucho menor con respecto a las regiones cercanas a las costas del océano Pacífico, golfo de México y el mar Caribe. Así entonces, los efectos de los periodos secos en el norte pueden llegar a ser más significativos que en el resto del país ya que, al disminuir las ya escasas lluvias de la zona, los eventos de La Niña intensifican los problemas de abastecimiento

para la industria, la agricultura y los suministros públicos (González-Elizondo *et al.*, 2005). Más aún, estos eventos incrementan las limitaciones para el desarrollo socioeconómico que significa el suministro de agua en la región (Villanueva-Díaz *et al.*, 2007).

Por otro lado, en el centro y sur del país las precipitaciones se incrementan durante la temporada de verano en los eventos de La Niña. Lo anterior significa que habrá una mayor cantidad de agua cayendo en la región, adicional a la relativa abundancia que ya tiene, situación que incrementa el riesgo de sufrir inundaciones. Además, es sustancial resaltar que el 68% de la precipitación en México ocurre entre los meses de junio y septiembre, es decir, durante el verano (Conagua, 2018).

## DISCUSIÓN

ENSO es el fenómeno climático más estudiado ya que sus efectos en el clima tienen un alcance global. Se ha sugerido que son múltiples los mecanismos que lo originan. Los más recientes modelos matemáticos que se han propuesto para describirlo tienen la limitación de que utilizan un enfoque lineal y producen oscilaciones periódicas, cuando en realidad el comportamiento de este fenómeno es de naturaleza no lineal y con oscilaciones cuasi periódicas. En ese sentido, un área de oportunidad identificada durante la elaboración de este artículo es el mejoramiento de los modelos que permitan describir con menor incertidumbre el fenómeno y, al mismo tiempo, comprender los mecanismos físicos que lo producen.

En cuanto a sus efectos en la precipitación, es importante recordar que existen iniciativas para el pronóstico de ENSO (IRI, 2021; NOAA, 2021). De esta manera, los hallazgos de este artículo cobran relevancia cuando se desean establecer las acciones de prevención y mitigación de sequías e inundaciones. Ahora bien, anteriormente se mencionó que existe controversia en cuanto a los efectos de ENSO en el centro del país durante el invierno. Los autores consideran que es una discusión en la que vale la pena profundizar. La importancia de hacerlo se manifiesta en la sequía que actualmente prevalece en México y su impacto en el abastecimiento de agua para los distintos usos. En efecto, al 30 de abril de 2021 y de acuerdo con la Conagua (2021), el 87.56% del territorio mexicano se encuentra en sequía. La temporada de lluvias de 2020 recibió menores precipitaciones en parte gracias a la ocurrencia de un evento reciente de La Niña (NASA, 2021).

Con excepción de esta controversia, parece haber un consenso en cuanto a los efectos de ENSO a escala regional. No obstante, hacia el futuro valdrá la pena analizar los efectos que tendrá ENSO en el ciclo hidrológico en la escala espacial de cuenca hidrológica. A la luz de sus efectos en el agua renovable disponible, pueden esperarse impactos importantes en el escurrimiento superficial y la recarga natural de acuíferos. Estudiarlos será importante para incorporarlos a la toma de decisiones en la gestión integrada del agua. Por último, es importante mencionar que existen también diferencias entre los efectos observados durante un El Niño de categoría intensa en comparación con un El Niño de categoría débil. Más aún, las oscilaciones en las temperaturas superficiales del mar que tienen lugar en el Pacífico Norte y en el Atlántico Norte tienen el potencial de actuar simultáneamente con ENSO y, dependiendo de la fase, pueden intensificar o disminuir sus efectos. Todos estos factores de variabilidad climática pueden alterar la interpretación de resultados, llevando a conclusiones divergentes en los estudios. Es muy importante abordar el estudio de estos efectos sinérgicos en territorio mexicano, con la finalidad de comprender mejor sus teleconexiones con la precipitación.

## CONCLUSIONES

ENSO es un fenómeno climático ampliamente estudiado y que ha sido descrito satisfactoriamente hasta este momento por un modelo matemático. No obstante, después de elaborar este artículo se concluyó que el enfoque lineal de este modelo limita la representación adecuada de ENSO. Igualmente, analizar sus efectos en las cuencas hidrológicas mexicanas será importante para tomar decisiones relacionadas con la gestión integrada del agua.

En general, puede resumirse que El Niño produce inviernos y veranos húmedos en el norte del país y veranos secos en el centro-sur. Por otro lado, La Niña ocasiona veranos e inviernos secos en el norte y veranos húmedos en el sur. La evidencia que respalda los efectos de ENSO durante el invierno en la región centro-sur del país es contradictoria, lo cual se explica gracias a la naturaleza no lineal del sistema climático e igualmente, por la interacción que tiene con otras oscilaciones climáticas. Esta cuestión merece ser abordada en futuras investigaciones, con el fin de poseer información más confiable al momento de establecer medidas preventivas y de mitigación de las sequías e inundaciones.

## REFERENCIAS

- Bjerknes, J. (1969).** Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Monthly Weather Review*, 97, 163–172. Recuperado de [https:// books.google.com.mx/books? hl=en&lr=&id=\\_tGAQAAMAAJ&oi=fn-d&p-g=PA163&dq=atmospheric+teleconnections+from+the+equato-rial+pacific&ots=yS1lWs5KnY&sig=fhUE3OndrRLXkp-](https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=_tGAQAAMAAJ&oi=fn-d&p-g=PA163&dq=atmospheric+teleconnections+from+the+equato-rial+pacific&ots=yS1lWs5KnY&sig=fhUE3OndrRLXkp-)
- Campos, M. N., Cárdenas, O. L., Gaxiola, A. y González, G. E. G. (2020).** Meteorological interaction between drought/oceanic indicators and rainfed maize yield in an arid agricultural zone in northwest Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(3), 131. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5115-4>
- Carrillo, C. N. (1892).** Disertación sobre las corrientes oceánicas y estudios de la corriente peruana o de Humboldt. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima* (II). Recuperado de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/183558#page/80/mode/1up>
- Caso, M., González-Abraham, C. y Ezcurra, E. (2007).** Divergent ecological effects of oceanographic anomalies on terrestrial ecosystems of the Mexican Pacific coast. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(25), 10530-10535. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701862104>
- Cavazos, T., Luna-Niño, R., Cerezo-Mota, R., Fuentes-Franco, R., Méndez, M., Pineda Martínez, L. F. y Valenzuela, E. (2020).** Climatic trends and regional climate models intercomparison over the CORDEX-CAM (Central America, Caribbean, and Mexico) domain. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1396-1420. <https://doi.org/10.1002/joc.6276>
- Cerano-Paredes, J., Méndez-González, J., Amaro-Sánchez, A., Villa-nueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R. y Rubio-Camacho, E. A. (2013).** Reconstrucción de precipitación invierno-primavera con anillos anuales de *pinus douglasiana* en la reserva de la biosfera sierra de Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(3), 413-423. <https://doi.org/10.5154/r.rchsc-fa.2013.02.007>
- Conagua. (2018).** *Estadísticas del agua en México, edición 2018*. Comisión Nacional del Agua.
- Conagua. (2021).** Monitor de Sequía de México al 30 de abril de 2021. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- Díaz-Esteban, Y. y Raga, G. B. (2018). Weather regimes associated with summer rainfall variability over southern Mexico. *International Journal of Climatology*, 38(1), 169–186. <https://doi.org/10.1002/joc.5168>
- Fang, X. y Xie, R. (2020). A brief review of ENSO theories and prediction. *Science China Earth Sciences*, 63(4), 476–491. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9539-0>
- González-Elizondo, M., Jurado, E., Nívar, J., González-Elizondo, M. S., Villanueva, J., Aguirre, O. y Jiménez, J. (2005). Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: a 1681–2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management*, 213(1-3), 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.012>
- Guckenheimer, J., Timmermann, A., Dijkstra, H. y Roberts, A. (2017). (Un) predictability of strong El Niño events. *Dynamics and Statistics of the Climate System*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1093/climsys/dzx004>
- IPCC (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y A. Reisinger (dirs. de la publicación)], IPCC, Ginebra, Suiza.
- IPCC (2013). Annex III: Glossary. In T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom y Nueva York, EE. UU.: Cambridge University Press.
- IRI. (2021). IRI ENSO Forecast. Recuperado de <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/ENSO/current/>
- Jin, F. F. (1997a). An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54(7), 811–829. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<0811:AEORPF>2.O.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<0811:AEORPF>2.O.CO;2)
- Jin, F. F. (1997b). An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part II: A stripped-down coupled model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54(7), 830–847. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<0830:AEORP-F>2.O.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<0830:AEORP-F>2.O.CO;2)

- Lachniet, M. S., Bernal, J. P., Asmerom, Y., Polyak, V. y Piperno, D. (2012). A 2400 yr Mesoamerican rainfall reconstruction links climate and cultural change. *Geology*, 40(3), 259-262. <https://doi.org/10.1130/G32471.1>
- Lau, K. M. y Yang, S. (2015). Tropical meteorology & climate: Walker Circulation. En G. R. North, J. Pyle y F. Zhang (Eds.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (pp. 177-181). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00450-3>
- Llanes-Cárdenas, O., Gaxiola-Hernández, A., Estrella-Gastelum, R. D., Norzagaray-Campos, M., Troyo-Diéguéz, E., Pérez-González, E., Ruiz-Guerrero,
- Magaña, V. O., Pérez, J. L. y Conde, C. (1998). El fenómeno de El Niño y sus impactos. *Ciencias*, 51(julio-septiembre), 14-18. Recuperado de <https://www.revistacienciasunam.com/es/108-revistas/revista-ciencias-51/907-el-fenomeno-del-el-nino-y-la-oscilacion-del-sur-sus-impactos-en-mexico.html>
- Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L. y Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3), 313-330. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56842304>
- Méndez, M. y Magaña, V. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and central America. *Journal of Climate*, 23(5), 1175-1188. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3080.1>
- Méndez González, J., Ramírez Leyva, A., Cornejo Oviedo, E., Zárate Lupercio, A. y Cavazos Pérez, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones geográficas*, (73), 57-70.
- Mendoza, B., Jáuregui, E., Díaz-Sandoval, R., García-Acosta, V., Velasco, V. y Cordero, G. (2005). Historical droughts in central Mexico and their relation with El Niño. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 709-716. <https://doi.org/10.1175/JAM2210.1>
- NASA. (2021). Widespread drought in Mexico. Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148270/widespread-drought-in-mexico>
- NOAA. (2021). Climate Prediction Center. Recuperado de [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ENSO\\_advisory/ENSODISC.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ENSO_advisory/ENSODISC.shtml)
- Okumura, Y. M. (2019). ENSO Diversity from an Atmospheric Perspective. *Current Climate Change Reports*, 5(3), 245-257. <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00138-7>

- Parazoo, N. C., Barnes, E., Worden, J., Harper, A. B., Bowman, K. B., Frankenberg, C., ... y Keenan, T. F. (2015). Influence of ENSO and the NAO on terrestrial carbon uptake in the Texas-northern Mexico region. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(8), 1247-1265. <https://doi.org/10.1002/2015GB005125>
- Park, J., Byrne, R. y Böhnelt, H. (2017). The combined influence of Pacific 35 decadal oscillation and Atlantic multidecadal oscillation on central Mexico since the early 1600s. *Earth and Planetary Science Letters*, 464, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.02.013>
- Picaut, J., Masia, F. y Du Penhoat, Y. (1997). An advective-reflective conceptual model for the oscillatory nature of the ENSO. *Science*, 277(5326), 663-666. <https://doi.org/10.1126/science.277.5326.663>
- R. y Pellegrini Cervantes, M. de J. (2018). Variability and factors of influence of extremewet and dry events in Northern Mexico. *Atmosphere*, 9(122). <https://doi.org/10.3390/atmos9040122>
- Ren, H. L., Zheng, F., Luo, J. J., Wang, R., Liu, M., Zhang, W., ... Zhou, G. (2020). A Review of Research on Tropical Air-Sea Interaction, ENSO Dynamics, and ENSO Prediction in China. *Journal of Meteorological Research*, 34(1), 43-62. <https://doi.org/10.1007/s13351-020-9155-1>
- Seager, R., Ting, M., Davis, M., Cane, M., Naik, N., Nakamura, J., Li, C., Cook, E. y Stahle, D. W. (2009). Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera*, 22(1), 1-31. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pi-d=S0187-62362009000100001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pi-d=S0187-62362009000100001)
- Stahle, D. W., Burnette, D. J., Diaz, J. V., Heim, R. R., Fye, F. K., Paredes, J. C. y Cleaveland, M. K. (2012). Pacific and Atlantic influences on Mesoamerican climate over the past millennium. *Climate Dynamics*, 39(6), 1431-1446. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1205-z>
- Stahle, D. W., Cook, E. R., Burnette, D. J., Torbenson, M. C., Howard, I. M., Griffin, D. y Crawford, C. J. (2020). Dynamics, variability, and change in seasonal precipitation reconstructions for North America. *Journal of Climate*, 33(8), 3173-3195. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0270.1>
- Stechmann, S. N. y Ogrosky, H. R. (2014). The Walker circulation, diabatic heating, and outgoing longwave radiation. *Geophysical Research Letters*, 41(24), 9097-9105. <https://doi.org/10.1002/2014GL062257>

- Torbenson, M. C. A., Stahle, D. W., Howard, I. M., Burnette, D. J., Villanueva-Díaz, J., Cook, E. R. y Griffin, D. (2019). Multidecadal modulation of the ENSO teleconnection to precipitation and tree growth over subtropical North America. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 34(5), 886-900. <https://doi.org/10.1029/2018PA003510>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Cerano-Paredes, J., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K. y Cornejo-Oviedo, E. (2007). Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climatic Change*, 83(1), 117-131. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9144-0>
- Wang, C. (2001). A Unified Oscillator Model for the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 14(1991), 98-115. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0098:AUOMFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0098:AUOMFT>2.0.CO;2)
- Wang, C. (2018). A review of ENSO theories. *National Science Review*, 5(6), 813-825. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy104>
- Weisberg, R. H. y Wang, C. (1997). A western Pacific oscillator paradigm for the El Niño-Southern Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 24(7), 779-782. <https://doi.org/10.1029/97GL00689>



# Precipitaciones extremas e inundaciones causadas por marea alta en Norteamérica<sup>1</sup>

Pedro Andrés Sánchez Gutiérrez

---

► 1. Artículo publicado en febrero de 2021 en el número 18 del boletín *Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos*.



En el ámbito global, los desastres causados por las tormentas se han duplicado en los últimos treinta años; y aquellos provocados por inundaciones y deslizamientos de tierra (deslaves) se han triplicado (Löv, 2018, 2019 y 2020). El crecimiento de este segundo grupo de desastres ha sido mayor porque las inundaciones, en el caso de las ciudades costeras, no sólo son causadas por la precipitación sino por el aumento en el nivel del mar (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018) (ver figura 1).

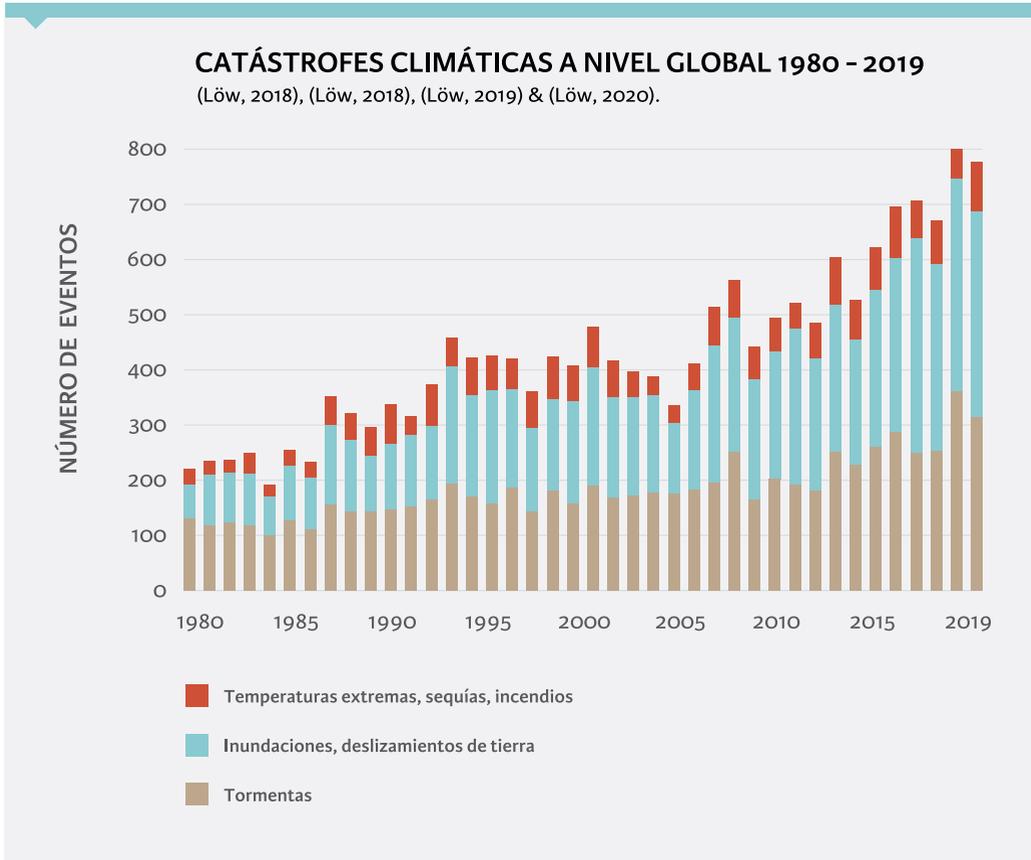
En efecto, las precipitaciones extremas tienen implicaciones en muchas facetas de los sistemas humanos y naturales. En América del Norte, específicamente, las observaciones han demostrado tendencias crecientes en las precipitaciones extremas, y los modelos y la teoría sugieren consistentemente aumentos continuos con el calentamiento futuro. Asimismo, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando, América del Norte verá incrementos en estos eventos hidrometeorológicos extremos (Kirchmeier-Young y Zhang, 2020).

Lo anterior ocurre debido a que, a medida que la atmósfera se calienta, el calor adicional aumenta la evaporación e intensifica el ciclo hidrológico, elevando la probabilidad y la ferocidad de las lluvias intensas. Aunado a ello, la cantidad de agua evaporada que el aire puede retener se ve afectada por su temperatura (NASA, 2010).

Así, por cada grado Celsius de calentamiento, la capacidad de retención de vapor de agua en el aire aumenta casi un 7%. Con más vapor de agua en el aire, hay más agua disponible para precipitar en forma de lluvias intensas (Center for Climate and Energy Solutions, s. f.).

Las precipitaciones intensas o extremas son casos en los que la cantidad de lluvia o nieve excede lo normal, lo que varía según la ubicación y la estación, y estos eventos aumentan con el cambio climático (United States Environmental Protection Agency, 2016). En Estados Unidos, las lluvias intensas ahora ocurren un 30 por ciento más a menudo que en 1948 (tienen lugar cada nueve meses en lugar de cada doce meses); también, son un 10% más intensas en promedio en dicho país (Environment America. Research y Policy Center, 2012). Las proyecciones muestran que dichas lluvias serán más frecuentes e intensas a medida que las temperaturas continúen aumentando (Witze, 2018).

Los eventos extremos a veces se caracterizan como eventos de lluvia uno-en-100 años, uno-en-1,000 años, uno-en-10,000 años, etc. Estos términos pueden ser confusos cuando ocurren múltiples eventos de uno-en-100 años, por ejemplo, en un solo año (United States Geological Survey, s. f.).



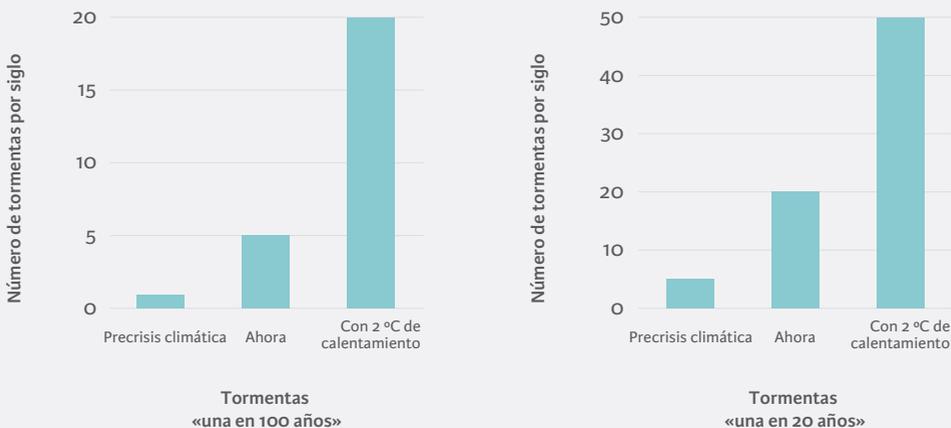
**Figura 1.** Catástrofes climáticas a nivel global 1980 - 2019.

Reproducida de Löw (2018, 2019 y 2020).

La razón es que estos términos hacen referencia a la probabilidad de que tal evento pueda ocurrir en un año dado, con base en el promedio histórico. En otras palabras, un evento de uno-en-100 años tiene una probabilidad del 1% de ocurrir anualmente (United States Geological Survey, s. f.).

A nivel regional, en América del Norte la precipitación extrema promedio se prevé que muestre reducciones dramáticas en los periodos de retorno (Kirchmeier-Young y Zhang, 2020). De hecho, actualmente, eventos uno-en-20 años se han convertido en eventos uno-en-5 años; esto con un calentamiento

## OCURRENCIA DE GRANDES TORMENTAS EN NORTEAMÉRICA



**Figura 2.** Ocurrencia de grandes tormentas en Norteamérica.

Reproducida de Kirchmeier-Young y Zhang (2020).

en la atmósfera cercano al +1 °C (con relación al clima de la era preindustrial), mientras que eventos uno-en-50 años se han convertido en uno-en-10 años; y eventos uno-en-100 años son ahora prácticamente eventos uno-en-20 años (Kirchmeier-Young y Zhang, 2020).

Sin embargo, si permitimos que la temperatura terrestre promedio aumente +2 °C, un evento uno-en-100 años se convertirá en uno-en-5 años; y en uno-en-2.5 años con +3 °C de calentamiento. De la misma manera, con un calentamiento de +2 °C un evento uno-en-20 años se convertirá en uno-en-2 años; y en uno-en-1.5 años con +3 °C de calentamiento (Kirchmeier-Young y Zhang, 2020) (ver figura 2).

Por su parte, las inundaciones por marea alta hoy en día afectan principalmente a los activos (patrimonio) o infraestructura expuestos y de tierras bajas, como carreteras, puertos, playas, sistemas públicos pluviales, de aguas residuales y de agua potable, así como propiedades privadas y co-

merciales. Debido al aumento relativo del nivel del mar (RSL, por sus siglas en inglés), cada vez más ciudades están expuestas y vulnerables a las inundaciones por marea alta, las cuales han ido aumentando rápidamente en frecuencia, profundidad y extensión a lo largo de muchas costas de Estados Unidos. Actualmente, las inundaciones por marea alta probablemente sean más perturbadoras que dañinas. Sin embargo, sus efectos acumulativos se están convirtiendo en un problema grave en varios lugares, incluidos muchos de importancia estratégica para la seguridad nacional de Estados Unidos, como Norfolk (VA), San Diego (CA) y la isla Kwajalein en las Islas Marshall (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018).

Durante las últimas décadas, las frecuencias anuales de inundaciones por marea alta han aumentado linealmente en 31 lugares, principalmente a lo largo de las costas del Atlántico y golfo de México en Estados Unidos, y, en menor medida, a lo largo de las costas del Pacífico en dicho país. Las frecuencias anuales se están acelerando (aumentando de manera no lineal) en 30 ubicaciones, principalmente a lo largo de las costas atlánticas. Respecto a este último caso, en las costas de los estados sureños el incremento de días al año de inundaciones por marea alta aumentó 150% en el periodo 2000-2018 (National Oceanic and Atmospheric Administration. U. S. Department of Commerce, 2018).

Con el RSL comportándose de forma sostenida, las frecuencias de inundaciones de marea alta continuarán aumentando, y se prevé que con rapidez, debido al forzamiento de las mareas, que hoy en día es aún ocasional. El Centro para Productos y Servicios Operacionales Oceanográficos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos evaluó los cambios futuros localmente proyectados bajo un subconjunto de escenarios de incremento global del nivel del mar, específicamente los escenarios «intermedio bajo» (0.5 metros de aumento global para el año 2100) e «intermedio» (1.0 metro de aumento). Bajo estos dos escenarios, para el año 2050, las frecuencias anuales de inundaciones por marea alta a lo largo del Golfo occidental (80 y 185 días/año, respectivamente) y el Atlántico noreste (45 y 130 días/año) se prevé que sean las más altas debido a que se proyecta que el RSL sea mayor. A lo largo de las costas del Atlántico sureste (25 y 85 días/año), el Golfo oriental (25 y 80 días/año), el Pacífico suroeste (15 y 35 días/año), Pacífico noroeste (15 y 30 días/año), Pacífico (5 y 45 días/año) e islas del Caribe (0 y 5 días/año), las inundaciones por marea alta ocurrirán con menos frecuencia porque las proyecciones de RSL son más bajas o debido a que las condiciones

climáticas serán típicamente más tranquilas; sin embargo, el incremento en la frecuencia de inundaciones anuales aumentará eventualmente a tasas muy elevadas. En promedio, en todas las regiones las inundaciones por marea alta para el año 2050 ocurrirán alrededor del 35% y 60% de las veces sólo por el forzamiento de la marea, bajo los escenarios intermedio bajo e intermedio, respectivamente (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018).

Para el 2100, las inundaciones por marea alta ocurrirán cada dos días (182 días/año) o con mayor frecuencia —en las costas de Estados Unidos— en el escenario «bajo intermedio» dentro del Atlántico, el golfo de México y las islas del Pacífico, con el forzamiento de la marea causando el cien por ciento de las inundaciones, excepto en el Golfo oriental (80%). Sin embargo, en el escenario intermedio, las inundaciones por marea alta se convertirían en inundaciones diarias (365 días/año) con el forzamiento de la marea causando el cien por ciento de las inundaciones en casi todas las regiones (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018).

Estos resultados ilustran lo cerca que están las ciudades costeras de Estados Unidos de un punto de no retorno respecto a la frecuencia de las inundaciones. Lo cual sugiere una reinterpretación de los métodos adaptativos de ingeniería, así como del nivel deseado de protección en términos de tipo de inundación, tanto en el presente como en el futuro. Este reconocimiento puede, a su vez, facilitar una implementación más sistemática de las políticas públicas de adaptación al cambio climático a nivel nacional en los países de Norteamérica y, en general, en las demás regiones.

## REFERENCIAS

- Center for Climate and Energy Solutions. (s.f.).** *Extreme Precipitation and Climate Change*. Recuperado de <https://www.czes.org/content/extreme-precipitation-and-climate-change/>
- Environment America. Research & Policy Center. (2012).** *When It Rains, It Pours*. (E. America, Ed.). Global Warming and the Increase in Extreme Precipitation from 1948 to 2011. Recuperado de <https://environmentamerica.org/sites/environment/files/reports/When%20It%20Rains,%20It%20Pours%20vovus.pdf>
- Kirchmeier-Young, M. C. y Zhang, X. (2020).** Human influence has intensified extreme precipitation in North America. In S. Solomon (Ed.), *Proceedings*

- of the National Academy of Sciences of the United States of America, 17, 13308-13313. Recuperado de <https://doi.org/10.1073/pnas.1921628117>
- Löw, P. (2018).** *Natural Disasters. Hurricanes cause record losses in 2017 - The year in figures.* Munich Re. Recuperado de <https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/2017-year-in-figures.html>
- Löw, P. (2019).** *Natural disasters. The natural disasters of 2018 in figures. Losses in 2018 dominated by wildfires and tropical storms.* Munich Re. Recuperado de <https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/the-natural-disasters-of-2018-in-figures.html>
- Löw, P. (2020).** *Natural disasters. Tropical cyclones cause highest losses. Natural disasters of 2019 in figures.* Munich Re. Recuperado de <https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/natural-disasters-of-2019-in-figures-tropical-cyclones-cause-highest-losses.html>
- NASA. (2010).** *The Water Cycle and Climate Change.* Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Water/page3.php>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018).** *Patterns and projections of high tide flooding along the U.S. coastline using a common impact threshold.* NOAA Technical Report NOS CO-OPS O86. Silver Spring, MD: U.S. Department of Commerce. National Ocean Service. Center for Operational Oceanographic Products and Services.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. U. S. Department of Commerce. (2018).** *Coastal communities saw record number of high tide flooding days last year.* Recuperado de Home / News & Features: <https://www.noaa.gov/news/coastal-communities-saw-record-number-of-high-tide-flooding-days-last-year>
- United States Environmental Protection Agency. (2016).** *Climate Change Indicators: Heavy Precipitation.* Retrieved December 31, 2020, from Climate Change Indicators. Recuperado de <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heavy-precipitation>
- United States Geological Survey. (s.f.).** *The 100-Year Flood.* Water Science School. Recuperado de <http://water.usgs.gov/edu/100yearflood.html>
- Witze, A. (2018).** *Why extreme rains are gaining strength as the climate warms.* Recuperado de <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07447-1>

# La antorcha de Chaac

## Los mayas y el clima<sup>1</sup>

Uxmal Rodríguez Morales

---

► 1. Artículo publicado en octubre de 2020 en el número 17 del boletín Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos.



Grandes constructores, inventores del número cero, astrólogos excepcionales, sacrificadores de doncellas, predictores de uno de los tantos fines del mundo... así son reconocidos los mayas precolombinos, una de las culturas americanas que más fascina a la humanidad. El interés por esta civilización ha tenido un auge motivado —en especial, aunque no sea la única razón— por todo lo relacionado con su calendario y el año 2012. Otro de los misterios que rodean a los antiguos mayas es el enigma sobre su mal llamada «desaparición».

Aunque los mayas realmente no desaparecieron, esta idea hace referencia a la reducción drástica de la población en las principales ciudades, así como a la disminución y cese de la construcción de grandes edificios y estelas, e incluso el abandono de urbes muy poderosas en su tiempo. A este evento se le conoce como el colapso del Clásico maya y ocurrió durante el periodo que los mayistas llaman Clásico terminal, aproximadamente entre los años 750 y 1050 de la era común (e. c.), aunque estos límites varían según los distintos autores y enfoques. Este suceso ocurrió de manera paulatina y de forma dispar tanto temporal como espacialmente en el territorio ocupado por los mayas. Por esto, algunos historiadores y arqueólogos evitan emplear el término colapso y se refieren a este suceso como el declive o el abandono del maya clásico.

Los mayas precolombinos habitaban en un amplio territorio de Mesoamérica que abarca fundamentalmente desde la península de Yucatán hasta El Salvador. Esta zona es extremadamente heterogénea y muestra grandes diferencias en cuanto a la orografía, el tipo de suelo, la vegetación y el clima, especialmente en la precipitación. A pesar de que la mayor parte de la lluvia, aproximadamente el 70 por ciento, ocurre durante un periodo de cinco meses, entre junio y septiembre, existe un gradiente sur-norte en cuanto a la cantidad total. La precipitación es mucho mayor en las zonas del sur, en el territorio montañoso de Centroamérica llamado tierras altas mayas, y va disminuyendo a medida que se avanza hacia el norte de la península de Yucatán, región llamada las tierras bajas mayas del norte.

Al ser una civilización sedentaria agrícola, que se estableció en una región donde no abundan los grandes ríos, los mayas, en su mayoría, dependían fundamentalmente de la presencia de manantiales y lluvia para la agricultura y de su capacidad de almacenamiento hídrico para usos domésticos. Esto puede notarse en el desarrollo de estructuras como las cisternas o chultunes de la zona Puuc, acueductos como el de Palenque y los reservorios de tamaños variados de Tikal, Calakmul y Caracol; todos éstos son claros ejemplos de sistemas de adaptación a su entorno natural. Aun así, eran susceptibles a los cambios

en la precipitación. Por eso en su panteón, uno de sus dioses principales era Chaac, una deidad múltiple, señor de la lluvia y los cuatro puntos cardinales, personificado de varias formas y con diferentes atuendos, en especial, con una antorcha cuando representaba tiempos de sequía.

Muchas son las hipótesis acerca de los factores involucrados en el declive maya: los conflictos bélicos de diversa índole como levantamientos sociales, guerras internas por la sucesión dinástica, invasiones por ejércitos de ciudades rivales; plagas, degradación medioambiental y variaciones climáticas. Estas dos últimas opciones han ido cobrando fuerza en años recientes, con el aumento de publicaciones acerca de este suceso, en general, y en especial aquellas que lo relacionan con algún evento climático. Además del mundialmente famoso 2012, el renovado interés en los mayas se debe, seguramente, a la toma de conciencia sobre nuestra relación como civilización con la naturaleza y el papel que estamos jugando en el cambio climático antropogénico. Otro factor que ha reforzado la idea de los eventos climáticos como detonantes del declive maya, específicamente las sequías, son las diversas reconstrucciones paleoclimatológicas que se han realizado en la zona habitada por los mayas y otras regiones aledañas. Estas reconstrucciones consisten en estimar los valores de precipitación y temperatura de tiempos pasados a partir de varias fuentes, como el estudio de variaciones de la composición química de los sedimentos de lagos, canales o deposiciones fluviales en la desembocadura de los ríos; también a través de estalactitas, el polen de los distintos estratos del suelo o mediante el método más conocido, analizando los anillos de crecimiento de los árboles.

A partir de estos estudios se ha podido determinar que hubo un clima más lluvioso durante el periodo clásico tardío que coincide con el florecimiento maya, tiempo del aumento de la población, expansión de las zonas de influencia de grandes ciudades Estados rivales como Tikal y Calakmul y la explosión de la construcción de los grandes monumentos que caracterizan el máximo esplendor de estas importantes metrópolis. También hay evidencias de varias sequías y periodos de aridez durante el clásico terminal y el posclásico temprano, esto coincide con el periodo de disminución de la población y abandono de grandes ciudades. En algunas reconstrucciones se puede acercar la lupa temporal y establecer un periodo seco situado de manera aproximada entre los años 760 y 910 e. c., donde ocurrieron eventos de grandes sequías recurrentes espaciados por un lapso de cincuenta años y que pudieron haber durado entre tres y nueve años. Este periodo coincide con el momento del declive maya que según varios historiadores fue un proceso paulatino que duró alrededor de doscientos años.

Estas coincidencias han llevado a algunos defensores de la tesis de la catástrofe climática a hacer énfasis en el papel determinante de las sequías en detonar el declive de todo el mundo maya. A pesar de la innegable contribución que puedan haber tenido estos eventos hidrometeorológicos extremos, otros indicios arqueológicos muestran una historia mucho más compleja. Existen muchas evidencias que sugieren que el colapso de la civilización maya ocurrió de manera distinta en las tierras altas relacionadas con las zonas de la sierra, y en el sur y norte de las tierras bajas en Yucatán. El declive de la civilización maya fue un proceso extremadamente complejo, multifactorial y heterogéneo temporal y espacialmente, que inició durante el periodo clásico, se extendió hasta el postclásico, hasta que comenzó la Conquista con la llegada de los españoles, y en 1697 sucumbió Nojpetén, el último reducto maya precolombino en el lago Petén. En realidad, la complejidad de este proceso hace más plausible la posibilidad de diversos factores involucrados, y que varias sequías detonaron un proceso de declive. Varios datos refuerzan esta hipótesis integracionista, aunque sería mejor enfocarse en la preponderancia de cada factor para sitios individuales antes de generalizar. Algunas de esas pistas provienen de campos de la ciencia de los cuales nunca sospecharíamos: la modelación hidrológica y dinámica. Mediante el empleo de varios modelos se puede simular bastante bien la línea histórica del desarrollo de la sociedad maya, incluso con buenas coincidencias en cuanto al periodo en el que comienza a practicarse la agricultura intensiva y se da el florecimiento maya. Uno de estos resultados muestra que, incluso sin sequías, los mayas habrían enfrentado serios problemas por el agotamiento del suelo, debido a la práctica extendida de la agricultura intensiva, tan necesaria para alimentar a la creciente población que habitaba las grandes metrópolis del periodo clásico. La disminución en la capacidad de producir los alimentos necesarios siempre trae como consecuencia problemas de malnutrición, enfermedades y descontento social. Esto podría agravar situaciones existentes de salud pública, debido al hacinamiento y la disminución de la higiene, lo que parece haber sucedido, al menos, en dos importantes sitios del periodo clásico: Copán y Palenque.

En otros casos, como el de Palenque (Lakam ha'), las simulaciones hidrológicas en la cuenca alrededor de la ciudad sugieren que una sequía sobre los recursos hídricos no sería tan significativa, pero el cambio en el uso de suelo parece haber modificado el impacto de los cambios de clima sobre la cuenca, lo que quizás aumentó su sensibilidad a las sequías que muestran las reconstrucciones climatológicas. En este caso parece que habría que buscar otras causas



**Figura 1.** Fotografía de gran plaza y gran pirámide de Tikal. Fuente: Kimmy Baum, Unsplash.

concomitantes, probablemente sociopolíticas, para explicar completamente su abandono, ya que estudios arqueológicos sugieren que el deterioro del medio ambiente y la disminución de los recursos naturales no parecen haber incidido notoriamente en el declive final de Palenque.

Un sitio del cual se tiene gran cantidad de información es Tikal (ver figura 1). En esta urbe existían varios reservorios y sistemas de canales que permitían acopiar agua para varios usos. Aunque la cantidad almacenada no parece haber alcanzado para regar toda la superficie agrícola necesaria para alimentar con maíz a todos los habitantes de la ciudad, el contenido de algunos reservorios periféricos sí parece haberse empleado con tal fin en algunas ocasiones. A pesar de que la cuantía total de agua no permitía regar todas las cosechas, un año de sequía intensa puede no haber traído muchos problemas con la provisión de agua, al menos para el uso público; esto según estudios de modelación de la demanda urbana. Sin embargo, es lógico suponer que periodos de sequías recurrentes pueden haber limitado el recurso hídrico mucho más allá de lo supuesto.

Otro evento específico de Tikal que empeoró la situación fue la contaminación de los reservorios de agua. Al analizar los depósitos de sedimentos se detectó la presencia de mercurio de dos de los reservorios fundamentales situados en la zona central, donde estaban los principales palacios, templos y plazas. El mercurio provenía del cinabrio, el sulfuro de mercurio, un mineral muy empleado para el color rojo de la cerámica y los edificios, y también en prácticas rituales como los enterramientos.

Asimismo, se detectó un aumento de las concentraciones de fosfatos durante estos periodos en dichos reservorios que, en conjunto con altas temperaturas y la disminución de la renovación del agua en estos estanques producto de las sequías, favoreció la proliferación de cianobacterias. Ciertamente, además de todo lo anterior, se encontró material genético correspondiente a *Plankthrix* y *Microcystis*, dos géneros que producen cianotoxinas. Estas sustancias pueden ser tóxicas a bajas concentraciones (2 nM) y algunas de ellas resisten la cocción. Todos estos elementos se encontraron en capas de sedimento que corresponden a los periodos clásico tardío y clásico terminal.

Las sequías recurrentes llegaron en un momento crucial. Los gobernantes de ese periodo fueron talando, cada vez más, una gran cantidad de bosques aledaños para cultivar esas tierras de manera intensiva y producir los alimentos necesarios para una población creciente. Todo esto llevó a la deforestación excesiva, la pérdida de la cobertura vegetal y, al final, la erosión y la degradación del suelo.

La tierra, seca y exhausta, se negó a producir; el líquido almacenado que provenía de los cántaros de Chaac menguó y se tornó ponzoñoso; el hambre apremió; los reyes habían perdido el favor de los dioses; de las guerras que antaño trajeron riquezas, prisioneros, gloria y poder hoy sólo queda cansancio... esto es el fin. Esta dramática y sobrecargada imagen pudo haber sucedido en Tikal hace más de mil años, pero sería imprudente pensar que no podría volver a escena. El mundo actual se mueve con un modelo socioeconómico extremadamente consumista que ha sido sostenido, hasta ahora, gracias a la depredación excesiva de muchos recursos naturales, la destrucción de ecosistemas, la contaminación del suelo, el agua y el aire; con la explotación y hasta la muerte de muchos de nuestros congéneres. A causa del cambio climático antropogénico se prevé un aumento de los eventos extremos hidrometeorológicos, en especial las sequías, las que ocurrirán en un mundo tecnológico, pero lleno de pobreza y millones de seres humanos descontentos y vulnerables.

Como sociedad, aún estamos a tiempo de recordar lo que nos queda de humanidad y sabiduría; todavía podemos vernos en el espejo de los antiguos mayas, asomarnos al cenote sagrado y ver reflejada en la mermada superficie del agua cómo se acerca, inexorablemente, desde no muy lejos, la antorcha de Chaac.

## REFERENCIAS

- Carrillo-Bastos, A., Islebe, G. A. y Torrescano-Valle, N. (2013). 3800 Years of Quantitative Precipitation Reconstruction from the Northwest Yucatan Peninsula. *Plos One*, 8(12), e84333.
- Ertsen, M. W. y Wouters, K. (2018). The drop that makes a vase overflow: Understanding Maya society through daily water management. *WIREs Water*, 5, e1281.
- French, K. D. y Duffy, C. J. (2014). Understanding ancient Maya water resources and the implications for a more sustainable future. *WIREs Water*, 1, 305-313.
- Gallareta, T. (2000). Sequía y colapso de las ciudades mayas del Puuc. l'inaj. *INAH Yucatán*, 11, 13-18.
- Haug, G.H., Günther, D., Peterson, L.C., Sigman, D.M., Hughen, K.A. y Aeschlimann, B. (2003). Climate and the Collapse of Maya Civilization. *Science*, 299,1731-1735.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia. (2017). Boletín N° 393. Recuperado de [https://www.inah.gob.mx/attachments/article/6660/20171108\\_boletin\\_393.pdf](https://www.inah.gob.mx/attachments/article/6660/20171108_boletin_393.pdf)
- Lentz, D. L., Hamilton, T. L., Dunning, N. P., Scarborough, V. L. Luxton, T. P., Vonderheide, A., Tepe, E. J., Perfetta, C. J., Brunemann, J., Grazioso, L., Valdez, F., Tankersley, K. B. y Weiss, A. A. (2020). Molecular genetics and geochemical assays reveal severe contamination of drinking water reservoirs at the ancient Maya city of Tikal. *Scientific Reports*, 10, 10316.
- Luzzadder-Beach, S., Beach, T. y Dunning, N. P. (2012). Wetland fields as mirrors of drought and the Maya abandonment. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 109(10), 3646-3651
- Márquez, L. y Hernández, P. O. (2013). Los mayas del clásico tardío y terminal. Una propuesta acerca de la dinámica demográfica de algunos grupos prehispánicos: Jaina, Palenque y Copán. *Estudios de Cultura Maya*, 42, 55-86.
- Marx, W., Haunschild, R. y Bornmann, L. (2017). The role of climate in the collapse of the Maya civilization: a bibliometric analysis of the scientific discourse. *Climate*, 5(4), 88.
- Nalda, E. (2005). Clásico terminal (750-1050 d. c.) y posclásico (1050-1550 d. c.) en el área maya. Colapso y reacomodos. *Arqueología Mexicana*, 76, 30-39.

- Reindel, M. (2002).** El abandono de las ciudades Puuc en el norte de Yucatán. *Estudios de Cultura Maya*, 22, 125-136.
- Roman, S. Palmer, E. y Bredea, M. (2018).** The dynamics of human-environment interactions in the collapse of the classic Maya. *Ecological Economics*, 146, 312-324.
- Stahle, D. W., Villanueva, J., Burnette, D. J., Cerano Paredes, J., Heim, R. R., Fye, F. K., Acuna Soto, R., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K. y Stahle, D. K. (2011).** Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research Letters*, 38, L05703.
- Turner B. L. (2010).** Unlocking the ancient Maya and their environment: Paleo-evidence and dating resolution. *Geology*, 38, 575-576.
- Turner, B. L. y Sabloff, J. A. (2012).** Classic Period collapse of the Central Maya Lowlands: Insights about human-environment relationships for sustainability. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 109(35), 13908-13914.

# Los once huracanes más intensos que han afectado a México<sup>1</sup>

David Eduardo Guevara Polo

---

► 1. Artículo publicado en octubre de 2019 en el boletín *Cátedra UNESCO de Riesgos Hidrometeorológicos*.



Debido a su posición geográfica, México se encuentra expuesto a huracanes tanto en el océano Pacífico como en el golfo de México y el Caribe. Muchas personas recuerdan los efectos destructivos que algunos causaron. Por ello, es de gran interés recordar la lista, en orden cronológico, de los once huracanes más intensos que se han presentado en nuestro país.

### HURACÁN DE 1959

Tocó tierra cerca de la costa de Manzanillo el 27 de octubre de 1959 con una velocidad de 138.9 kilómetros por hora. La intensidad de este huracán había sido reportada como categoría 5, pero después de una reevaluación se confirmó que, en realidad, su intensidad fue de categoría 4. Notablemente, en esta época aún no se había establecido el sistema para asignar nombres a los huracanes, por eso el huracán de 1959 no tiene un nombre oficial. Su ocurrencia y daños en la comunidad de Minatitlán, Colima, inspiraron el libro del historiador Raymundo Padilla Lozoya, titulado *El huracán del 59: Historia del desastre y reconstrucción de Minatitlán, Colima*.

### HURACÁN GILBERTO (1988)

Este huracán atravesó la porción noreste de la península de Yucatán el 14 de septiembre de 1988 con una intensidad categoría 5. Fue el primer huracán categoría 5 en ocurrir en el hemisferio occidental desde el huracán Camille en 1969. Después, continuó avanzado a través del golfo de México, a la vez que perdía intensidad, y llegó a la costa, cerca de la comunidad de La Pesca, Tamaulipas, el 16 de septiembre con una intensidad categoría 3.

### HURACANES OPAL Y ROXANNE (1995)

A pesar de que sus mayores efectos se presentaron en la costa del golfo en Estados Unidos, durante los primeros días de octubre de 1995, el huracán Opal también afectó a la península de Yucatán siendo todavía una depresión tropical, causando inundaciones que ocasionaron la muerte de 19 personas.

Una semana después, en el mar Caribe se formó el huracán Roxanne. Alcanzó la categoría 3 y la máxima velocidad de sus vientos, 211 kilómetros por hora, se reportó el 10 de octubre. Estaciones climatológicas de Veracruz y Tabasco registraron alrededor de 250 milímetros de lluvia. De acuerdo con autoridades

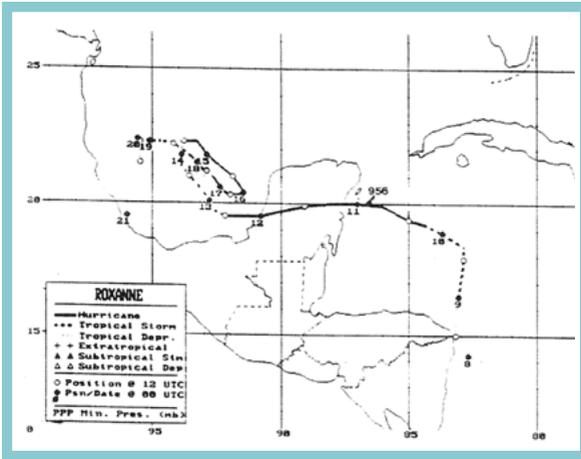


Figura 1. Trayectoria del huracán Roxanne (izquierda) (NOAA, 1995).

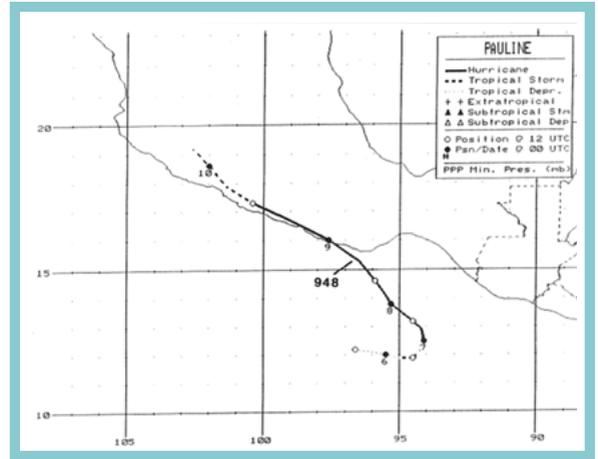


Figura 2. Trayectoria del huracán Paulina (derecha) (NOAA, 1997).

mexicanas, más de cuarenta mil viviendas fueron afectadas en los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. Se destruyó también la carretera que conectaba las ciudades de El Carmen y Campeche. Los daños ocasionados por ambos huracanes en la península de Yucatán se valoraron en 1,500 millones de dólares.

### HURACÁN PAULINA (1997)

Impactó la costa mexicana del océano Pacífico en los primeros días de octubre de 1997. Alcanzó la clasificación de huracán cuando estaba a 320 kilómetros al sur de Puerto Ángel, Oaxaca, ocasionando que esta comunidad quedara incomunicada, y llegó a categoría 4 el 7 de octubre. El presidente de la comunidad de Puerto Ángel declaró que no estaban preparados para dicha situación porque, por suerte, estos fenómenos no les habían impactado antes y mucha gente ni siquiera sabía qué era un huracán.

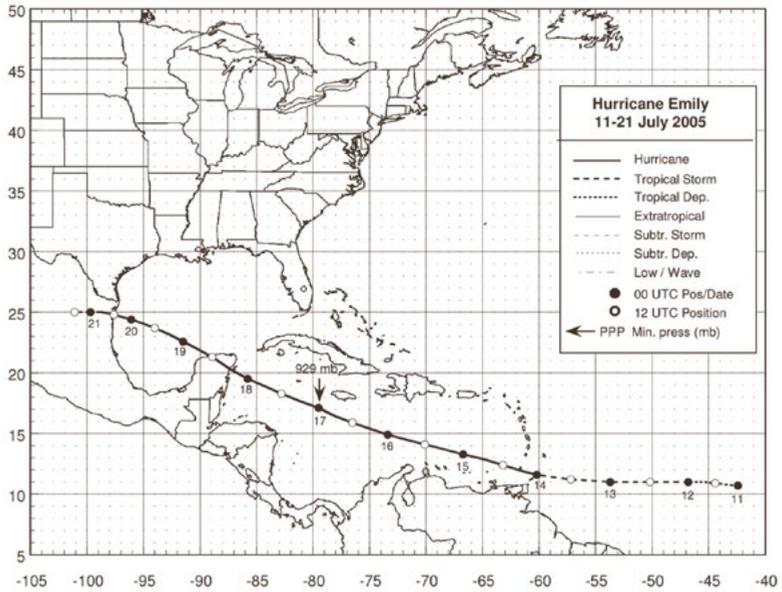


Figura 3. Trayectoria del huracán Emily (NOAA, 2005).

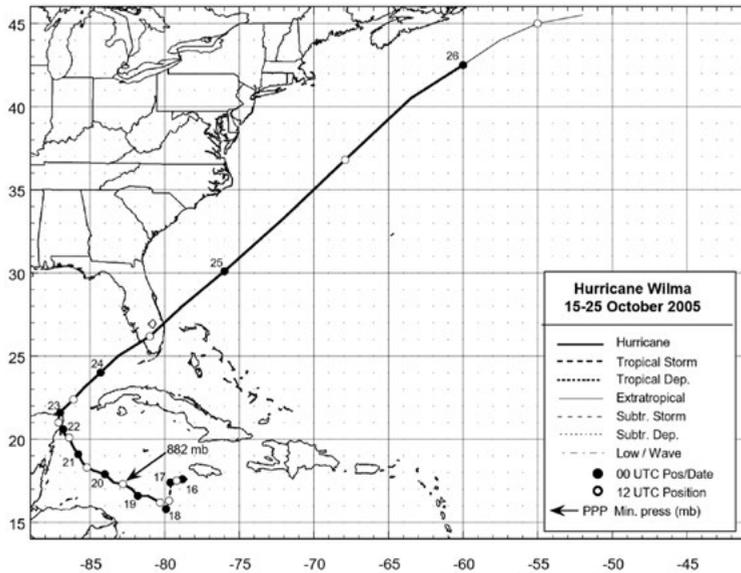


Figura 4. Trayectoria del huracán Wilma (NOAA, 2005).

## HURACÁN EMILY (2005)

Emily fue un huracán categoría 5 que afectó a la península de Yucatán, particularmente a las ciudades de Playa del Carmen, Tulum y la isla de Cozumel en su primera llegada a tierra, ocasionando fuertes inundaciones. En su segunda llegada a tierra impactó a la comunidad pesquera de Laguna Madre, Tamaulipas, donde destruyó el 85% de las viviendas. Además, ocasionó daños en Granada, Jamaica y Trinidad y Tobago.

## HURACÁN WILMA (2005)

Un dato interesante sobre este evento fue que incrementó las velocidades de sus vientos de 110 a 280 kilómetros por hora en un intervalo de 24 horas, una característica sin precedentes para un sistema del Atlántico. Impactó a la isla de Cozumel el 21 de octubre de 2005 con vientos de 240 kilómetros por hora (categoría 4) y atravesó la península de Yucatán unas horas después, disipando una fracción de su intensidad. Finalmente, impactó significativamente a la península de Florida, ocasionando la más larga interrupción del suministro de electricidad en ese estado.

## HURACÁN DEAN 2007

El huracán Dean alcanzó la categoría 5 y afectó a diversos países en el mar Caribe. En México, tocó tierra en dos ocasiones, la primera, el 21 de agosto cerca de la comunidad de Majahual, Quintana Roo, donde sus vientos alcanzaron velocidades de 280 kilómetros por hora, y la segunda, después de atravesar la península de Yucatán y salir por la bahía de Campeche, el 22 de agosto cerca de Tecolutla, Veracruz, como un huracán categoría 2, con vientos de 160 kilómetros por hora. En el primer impacto, Dean ocasionó daños en cientos de edificios y la clausura temporal del puerto Costa Maya.

## HURACÁN INGRID Y TORMENTA MANUEL 2013

Los impactos combinados de estos dos eventos fueron muy significativos para México. Ingrid estuvo presente en el golfo de México del 12 al 17 de septiembre. Sus vientos alcanzaron una velocidad máxima de 140 kilómetros por hora. Ingrid tocó tierra al sur de la comunidad de La Pesca, Veracruz, con vientos de 100

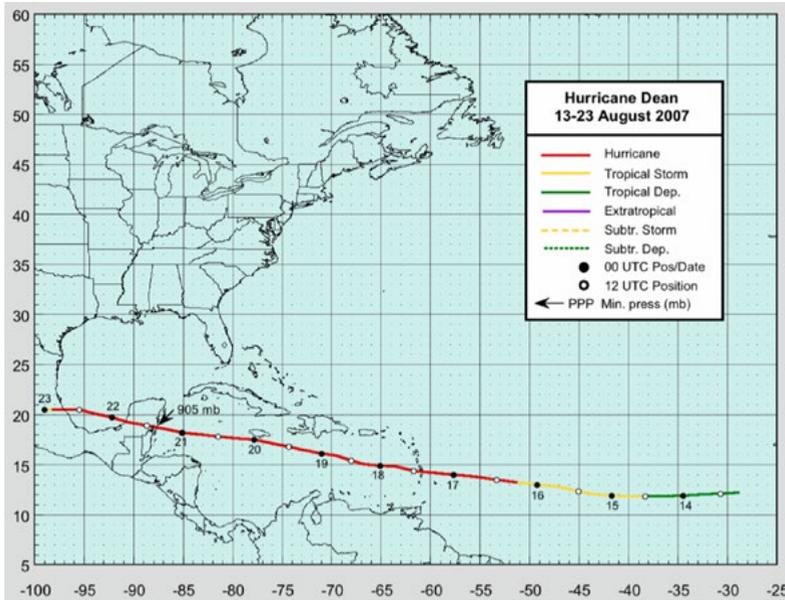


Figura 5. Trayectoria del huracán Dean (NOAA, 2007).

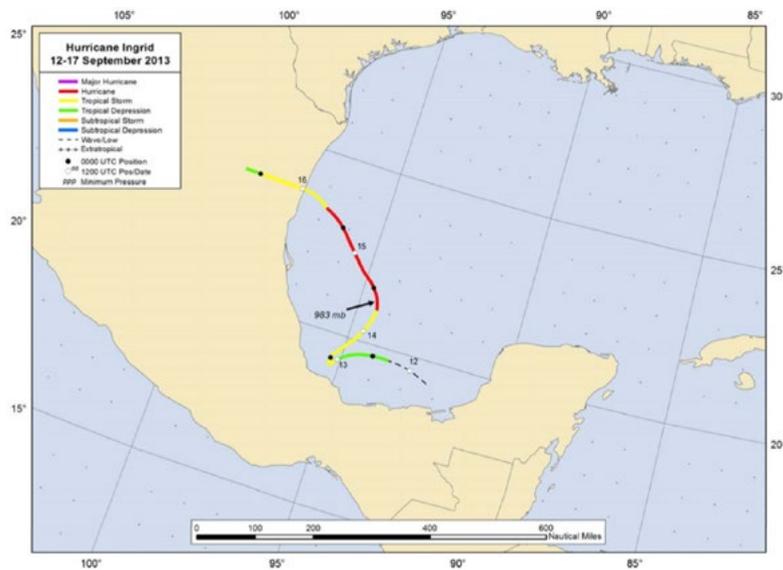


Figura 6. Trayectoria de la tormenta tropical Ingrid (NOAA, 2013b).

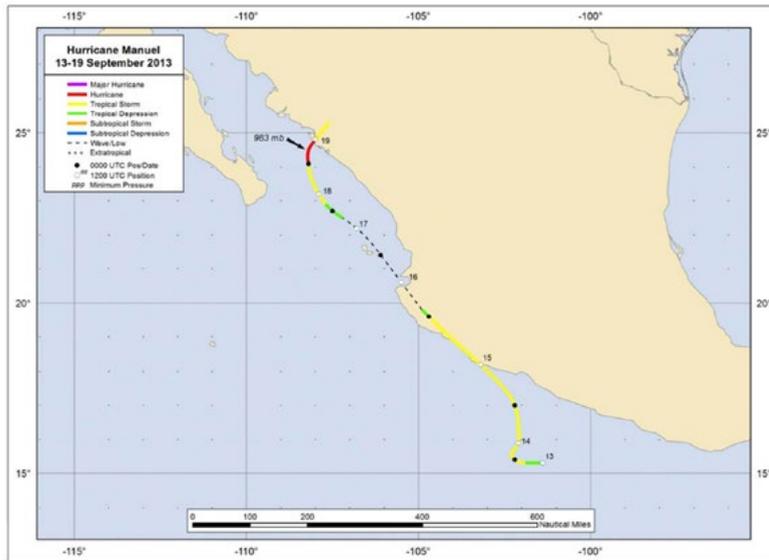


Figura 7. Trayectoria del huracán Manuel (NOAA, 2013a).

kilómetros por hora para posteriormente disiparse. Los daños ocasionados por Ingrid en México se valoraron en 230 millones de dólares y las intensas lluvias ocasionadas por su presencia causaron el desbordamiento de 68 cuerpos de agua y afectaciones en más de catorce mil viviendas en el estado de Veracruz. Paralelamente, el huracán Manuel estuvo presente en el océano Pacífico durante el periodo del 13 al 20 de septiembre. Tocó tierra cerca de la comunidad de Pichilinguillo, Michoacán, con vientos de una velocidad de 110 kilómetros por hora. Al emerger de tierra, al sur del golfo de California, Manuel se fortaleció y sus vientos alcanzaron una velocidad máxima de 120 kilómetros por hora.

## HURACÁN PATRICIA (2015)

Fue el huracán más intenso registrado en el océano Pacífico hasta esa fecha. Sus vientos alcanzaron una velocidad de 240 kilómetros por hora al llegar a tierra, cerca de playa Cuixmala, Jalisco. Posteriormente, se movió sobre la Sierra Madre Occidental, disipándose algunos días después. Más de 10,000 viviendas fueron afectadas por Patricia y se dañaron alrededor de 40,000 hectáreas de cultivos. Adicionalmente, se presentaron inundaciones en Michoacán y Jalisco.

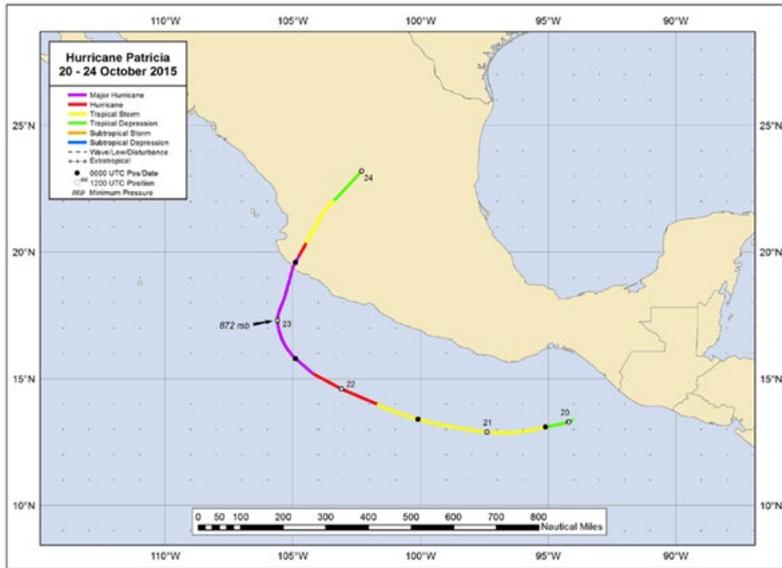


Figura 8. Trayectoria del huracán Patricia (NOAA, 2015).

## REFERENCIAS

- CNN. (2019).** Dangerous Hurricane Pauline to hit southwest Mexico. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20060521133856/http://www.cnn.com/WEATHER/9710/08/pauline/index.html>
- CNN. (2019).** Southern Mexico facing perils of Pauline. Recuperado de <http://edition.cnn.com/WEATHER/9710/08/pauline.update/index.html>
- Crespo, R. (2017).** Los 5 huracanes más fuertes de todos los tiempos. *Animal Político*. Recuperado de <https://www.animalpolitico.com/2017/02/los-5-huracanes-mas-fuertes-todos-los-tiempos/>
- El Universal. (2018)** ¿Cuáles han sido los huracanes más letales en México? Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/sociedad/cuales-han-sido-los-huracanes-mas-letales-en-mexico>
- Estrada, R. (2017).** Los 7 huracanes más devastadores que han golpeado a México. *El Financiero*. Recuperado de <https://www.elfinanciero.com.mx/nacion/los-huracanes-mas-devastadores-que-han-golpeado-a-mexico>

- Hagen, A., Morgerman, J., Sereno Trbaldo, E. y González, J. (2016). Hurricane reanalysis. Recuperado de [http://www.icyclone.com/upload/nov/feb\\_2016/Reanalysis\\_of\\_Great\\_Mexico\\_Hurricane\\_1959\\_FINAL.pdf](http://www.icyclone.com/upload/nov/feb_2016/Reanalysis_of_Great_Mexico_Hurricane_1959_FINAL.pdf)
- Hurricane history: Mexico's worst. (2014). *Mexico News Daily*. Recuperado de <https://mexiconewsdaily.com/news/hurricane-history-mexicos-worst/>
- NOAA & NWS. (2016). Re-analysis of the 1959 Manzanillo Mexico Hurricane. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/news/20160204\\_pa\\_1959HurricaneReanalysis.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/news/20160204_pa_1959HurricaneReanalysis.pdf)
- NOAA. (1988). Preliminary Report Hurricane Gilbert. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/archive/storm\\_wallets/atlantic/atl1988-prelim/gilbert/prelimo1.gif](https://www.nhc.noaa.gov/archive/storm_wallets/atlantic/atl1988-prelim/gilbert/prelimo1.gif)
- NOAA. (1995a). Preliminary Report Hurricane Opal. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL171995\\_Opal.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL171995_Opal.pdf)
- NOAA. (1995b). Preliminary Report Hurricane Roxanne. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL191995\\_Roxanne.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL191995_Roxanne.pdf)
- NOAA. (2005a). Tropical Cyclone Report Hurricane Emily. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL052005\\_Emily.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL052005_Emily.pdf)
- NOAA. (2005b). Tropical Cyclone Report Hurricane Wilma. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL252005\\_Wilma.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL252005_Wilma.pdf)
- NOAA. (2007). Tropical Cyclone Report Hurricane Dean. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL042007\\_Dean.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL042007_Dean.pdf)
- NOAA. (2013a). Tropical Cyclone Report Hurricane Ingrid. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL102013\\_Ingrid.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL102013_Ingrid.pdf)
- NOAA. (2013b). Tropical Cyclone Report Manuel. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP132013\\_Manuel.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP132013_Manuel.pdf)
- NOAA. (2015). Tropical Cyclone Report Hurricane Patricia. Recuperado de [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP202015\\_Patricia.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP202015_Patricia.pdf)
- NOAA. (2019a). Hurricane Pauline. Recuperado de <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/tropical/rain/pauline1997.html>
- NOAA. (2019b). Hurricane Roxanne. Recuperado de <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/tropical/rain/roxanne1995.html>
- Padilla-Lozoya, R. (2006). El huracán del 59: Historia del desastre y reconstrucción de Minatitlán, Colima. Universidad de Colima.

# Riesgos hidrometeorológicos en México<sup>1</sup>

Poliptro F. Martínez Austria



Se presenta una breve revisión de las principales tendencias en la ocurrencia de fenómenos extremos relacionados con el clima, particularmente en inundaciones y sequías. Se analizan sus posibles impactos en México y los probables efectos del cambio climático.

## INTRODUCCIÓN

El número de desastres naturales relacionados con el agua (inundaciones, sequías, tormentas tropicales y deslizamientos de tierra, principalmente), y su impacto social y económico se incrementa de manera continua, como se muestra en la figura 1 (Adikari y Yoshitani, 2009).

Durante el periodo de 1980-2006, de acuerdo con estos autores, «se reportaron en el mundo 2,163 desastres relacionados con el agua en la base de datos EM-DAT, causando la muerte de 290,000 personas, afectando a más de 1,500 millones de personas y produciendo daños por más de 422,000 millones de dólares» (Adikari y Yoshitani, 2009).

Si bien las tendencias en el número de fallecimientos por evento se han reducido, probablemente gracias a mejores planes de atención previa y durante estos desastres, su costo se ha elevado de manera sostenida, imponiendo en muchos países graves restricciones a los procesos de desarrollo. La tabla 1 muestra los diez principales desastres causantes de muertes en el mundo, ocurridos durante 2013. Es de notar que ocho de los diez mayores desastres, en términos de pérdida de vida humana, estuvieron relacionados con clima extremo.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, en la década de 2001-2010 se registraron nueve de los diez años más calientes del registro (WMO, 2013). Sin embargo, no sólo las temperaturas medias experimentaron un incremento, sino que se registraron también récords en temperaturas cálidas extremas. De acuerdo con este informe, en este periodo se registraron algunas de las más mortíferas ondas de calor observadas en el mundo, entre ellas la de 2006 en Europa, que causó más de 66,000 muertes, y la de la Federación Rusa de 2010, que ocasionó más de 55,000 muertes.

Por otra parte, los principales análisis científicos están de acuerdo en que el cambio climático incrementará la probabilidad de eventos hidrometeorológicos extremos (UNESCO, 2009). Aunque en latitudes medias y zonas subtropicales la precipitación promedio anual se verá en general disminuida, se espera la ocurrencia de eventos de mayor intensidad. Es decir que, en promedio, se

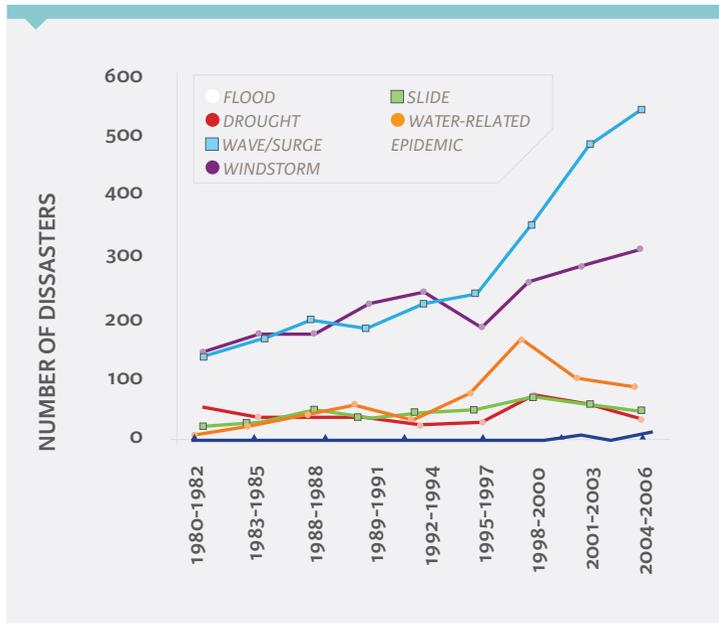


Figura 1. Número de desastres relacionados con el agua en el periodo 1980-2006 (Adikari y Yoshitari, 2009).

Evento	País	Número de muertes
Ciclón (Haiyan), noviembre	Filipinas	7,354
Inundación, junio	India	6,054
Onda de calor, julio	Reino Unido	760
Onda de calor, abril-junio	India	557
Terremoto, septiembre	Pakistán	399
Onda de calor, mayo-septiembre	Japón	338
Inundación, agosto	Pakistán	234
Inundación, julio	China	233
Terremoto, octubre	Filipinas	230
Inundación, septiembre-octubre	Camboya	200
<b>Total</b>		<b>16,359</b>

Tabla 1. Diez principales desastres ocurridos durante 2013 ( Guha-Sapir, Hoyois y Below, 2014).

contará con menos agua, pero con tormentas de corta duración y gran intensidad, que potencialmente ocasionarán inundaciones. Al mismo tiempo, son de esperar sequías más frecuentes e intensas.

## INUNDACIONES

Entre los mayores retos a la seguridad hídrica de México se encuentra la protección contra inundaciones. En el año 2010 solamente, el costo de los daños ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos extremos ascendió a \$82,540 millones. En Nuevo León, los daños del huracán Alex representaron el 2.45% del PIB del estado, y en Veracruz las inundaciones ocasionadas por las tormentas Karl y Matthew ocasionaron daños equivalentes al 4.8% del PIB estatal; en ese año 739 municipios del país recibieron declaratoria de desastre natural por eventos hidrometeorológicos (CENAPRED, 2012).

Como se aprecia en la tabla 2, estos daños se han incrementado continuamente. En el año 2007, la mayor parte del estado de Tabasco sufrió inundaciones, con enormes costos económicos y sociales. Una tendencia similar se observa en países con mayor desarrollo, como puede apreciarse en la figura 2, para Estados Unidos.

Año	Muertes	Millones de pesos
1999	480	\$11,604
2000	100	\$2,019
2001	163	\$2,416
2002	120	\$10,764
2003	138	\$4,267
2004	104	\$714
2005	203	\$45,096
2006	220	\$4,373
2007	187	\$49,422
2008	148	\$13,890
2009	100	\$14,041
2010	199	\$82,540

**Tabla 2.** Daños en México por desastres hidrometeorológicos (elaborada con datos de CENAPRED).

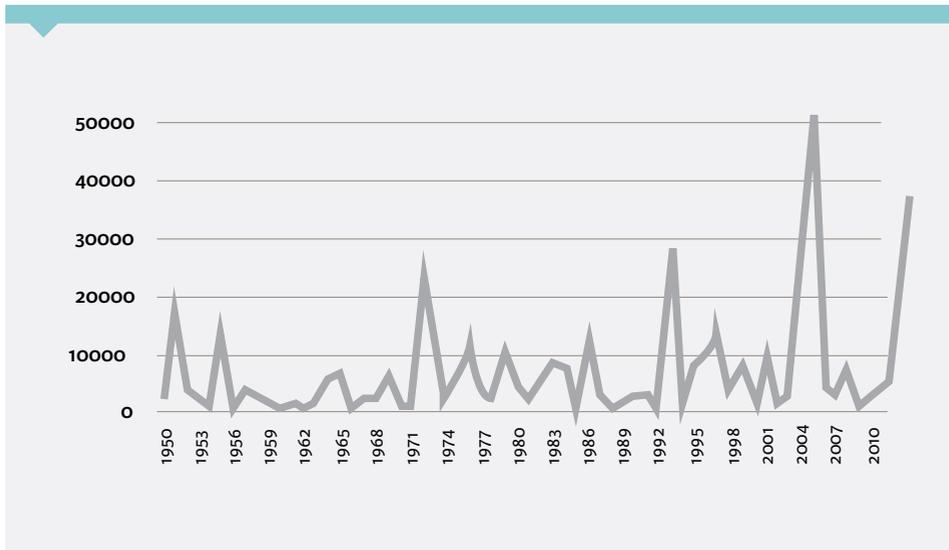


Figura 2. Daños en EE. UU. por inundaciones en millones de dólares (elaborada con datos de NOAA).

El costo de los daños se incrementa no sólo por el mayor peligro de eventos extremos, sino por la mayor vulnerabilidad o baja resiliencia de muchos países, en particular los menos desarrollados.

## SEQUÍAS

La sequía es uno de los fenómenos naturales que producen mayores pérdidas de vidas, daños económicos, retrasos en el proceso de desarrollo social y afectaciones al medio ambiente. No obstante, como asienta el informe de riesgos 2011 de la ONU, uno de los problemas principales en la investigación de las sequías es que sus impactos no son registrados o no son adecuadamente medidos. Para ilustrar los efectos de las sequías, existe suficiente información sólo en algunos casos en países desarrollados. Por ejemplo, durante la sequía de 2002-2003 Australia sufrió pérdidas por un valor de 2,340 millones de dólares, y su PIB se redujo en 1.6% como consecuencia de este fenómeno natural.

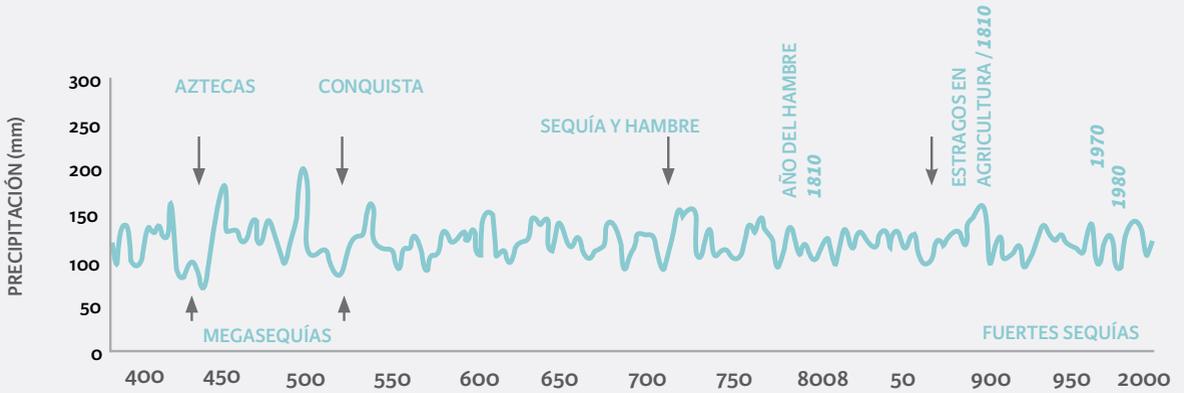
Durante la sequía iniciada en Norteamérica a finales de 2010, que abarcó gran parte de México y que aún persiste en una parte importante del territo-

rio de EE. UU., se han registrado pérdidas que podrían colocarla como la más devastadora en la historia de este país. Sólo en el estado de Texas, de acuerdo con información del Gobierno, en el año 2011 se estimaron pérdidas por 7,200 millones de dólares en la agricultura, de 3,230 millones en la ganadería y 2,200 millones en pérdidas en la producción de algodón. Adicionalmente, esta sequía que también afectó al norte de México, abrió un nuevo potencial de conflicto entre ambas naciones que comparten el agua del río Bravo/Grande conforme a un tratado binacional de distribución de aguas. Bajo las condiciones actuales de sequía, las presas en ambos países y las presas internacionales sobre el cauce del río tienen volúmenes de almacenamiento extremadamente bajos.

A pesar de estas alarmantes cifras en países desarrollados, las sequías producen sus mayores impactos precisamente en las comunidades y en los países con menores índices de desarrollo. Se estima que sólo la sequía del Sahel, registrada en el periodo 1968-1974, causó la muerte de 200,000 personas y millones de animales, con daños incuantificables al medio ambiente. La migración que se produce en este tipo de fenómenos naturales es otra fuente de preocupación en esas regiones del planeta.

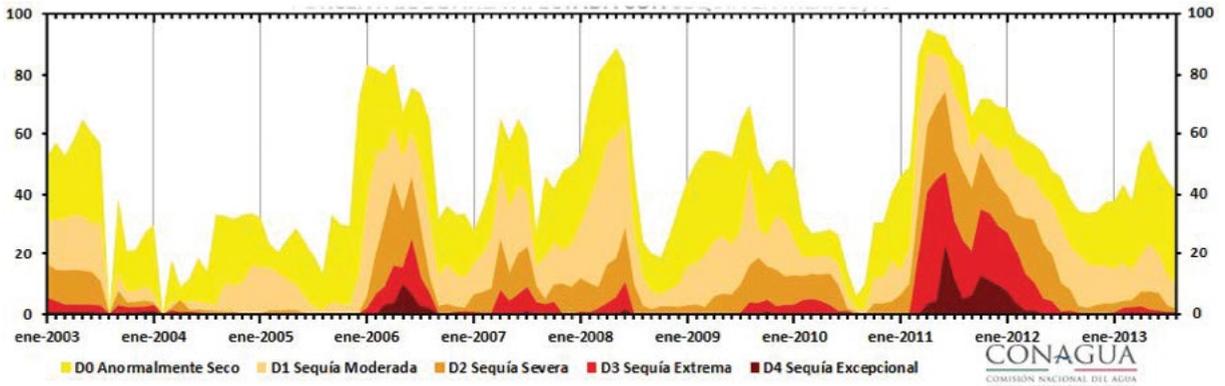
Por otra parte, el impacto de las sequías, cuando éstas abarcan grandes regiones, se extiende mucho más allá de las áreas directamente afectadas. Son en particular perniciosos los efectos en los precios de los alimentos. Si bien los incrementos observados en los precios de los alimentos son el resultado de un proceso multifactorial, tanto por cambios en la demanda, como en la oferta de alimentos, las sequías registradas en 2007-2008, en algunos países productores de granos, actuaron como un disparador de los precios que durante 2008 experimentaron un fuerte incremento (ver Trostle, 2008 y Mitchel, 2008). En un mundo con precios volátiles de los alimentos, como ha ocurrido especialmente en el último lustro y parece ser una tendencia permanente, la ocurrencia de sequías extensas tiene el potencial de producir importantes aumentos en los precios con el consecuente efecto negativo en la población de los países menos desarrollados que gastan aproximadamente la mitad de sus ingresos en alimentación.

De acuerdo con FAO (2013), «desde 1900 han muerto más de 11 millones de personas como consecuencia de la sequía, y más de 2,000 millones se han visto afectadas, más que en cualquier otro riesgo físico». Por otra parte, la duración e intensidad de las sequías se ha visto incrementada, en especial a partir de 1940.

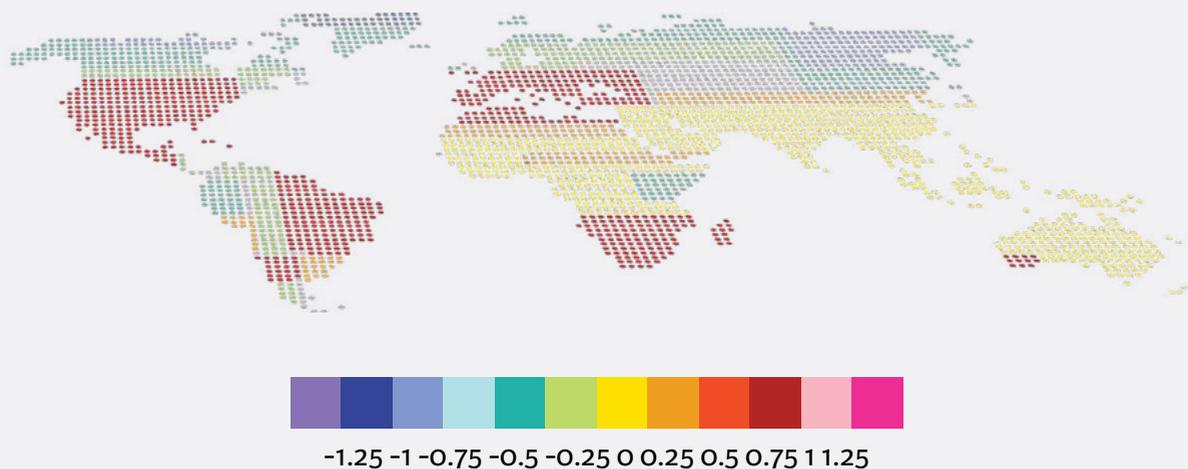


**Figura 3.** Variabilidad de precipitación en el noroeste de México en los últimos seiscientos años (Cerano Paredes *et al.*, 2011).

### PORCENTAJE DE ÁREA AFECTADA POR SEQUÍAS EN MÉXICO



**Figura 4.** Porcentaje de la superficie de México afectada por sequías entre enero de 2003 y agosto de 2013 (Servicio Meteorológico Nacional).



**Figura 5.** Cambios en días secos para el periodo 2080-2099 con relación a los valores del periodo 1980-1999, obtenidos de nueve modelos acoplados de circulación general. Se muestran los cambios en unidades de desviación estándar (Bates *et al.*, 2008).

En México, estudios con sequías reconstruidas de los últimos 600 años muestran que el país, además de sequías regionales de corta duración, registra megasequías, con una periodicidad de alrededor de 50 y 100 años (Cerano Paredes *et al.*, 2011), como se puede observar en la figura 3.

Las más recientes sequías que han afectado a México —la primera entre 2003 y 2006, y la segunda entre 2010 y 2013— han sido particularmente intensas. En la figura 4 se ilustra el porcentaje del territorio nacional bajo condiciones de sequía del año 2003 a agosto de 2013, mes en el que este fenómeno se vio interrumpido por lluvias extraordinarias, el otro extremo meteorológico, y que produjo daños inéditos en el territorio nacional.

Como puede observarse, durante 2011 se llegó a tener déficit de lluvias en el 90% del territorio, y más de 40% de la superficie se encontraba bajo sequía severa. Asimismo, es de notar que, durante toda la década, en promedio, más del 30% del país se ha encontrado en condiciones de déficit de lluvia.

Desde luego, otro de los impactos mayores de las sequías se produce en el medio ambiente, con pérdidas en la biodiversidad. Se reconoce a la sequía

como una de las principales causas de la desertificación, lo que supone cambios permanentes en la biodiversidad, productividad de los suelos y, en general, en la ecología de grandes regiones.

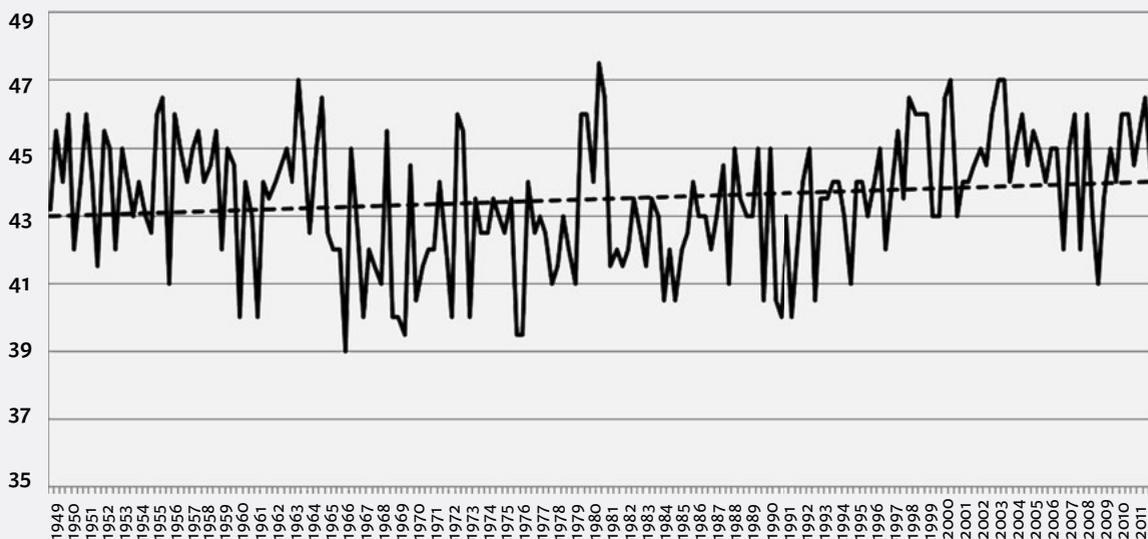
## EVENTOS EXTREMOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con estimaciones del Banco Mundial, el 80% del costo total de adaptación al cambio climático deberá destinarse a agua. Esta cifra da una idea de los retos que este proceso plantea a la gestión de los recursos hídricos. El informe técnico del IPCC establece claramente que «Los registros observacionales y las proyecciones climáticas proveen abundante evidencia de que los recursos hídricos son vulnerables y existe el potencial de que sean fuertemente impactados por el cambio climático» (Bates *et al.*, 2008).

Debido al incremento de temperatura registrado en el último siglo, ya se observan cambios importantes del ciclo hidrológico a gran escala. En particular, «el área clasificada como muy seca se ha más que duplicado desde 1970» (Bates *et al.*, 2008). Así, la desertificación amenaza directamente a más de 250 millones de personas y a una tercera parte de la superficie del planeta; 135 millones de personas podrían verse obligadas a desplazarse por efecto de la desertificación (Ruiz y Febles, 2004). En una reciente revisión de la investigación sobre la relación entre cambio climático y sequías, Dai (2011) considera que los datos, especialmente los de mediciones directas registrados desde 1950, proveen «un indicativo de cómo las sequías se harán más frecuentes y extensas en las próximas décadas bajo condiciones de cambio climático», al observar, en un análisis global, las tendencias en el índice de Palmer de la severidad de la sequía que muestran, para los últimos cincuenta años, un aumento en el número y extensión de las sequías en África, Europa, el sur y este del continente asiático y Sudamérica, así como una disminución consistente en la humedad del suelo.

De acuerdo con el IPCC (Bates *et al.*, 2008), como se muestra en la figura 5, «existe una tendencia a un clima más seco en verano en las regiones interiores de los continentes, lo que indica un mayor riesgo de sequías en esas regiones». Se estima que, en el escenario A2, se podrían incrementar las sequías hasta en un 30% en algunas regiones.

En México, de acuerdo con estudios recientes a partir de down-scaling, en el escenario A1B del IPCC, se estima que a finales de este siglo se reducirá la precipitación en su territorio en promedio en 15%, y en algunos estados del norte como Sonora y Baja California, en más de 21% (Martinez-Austria y Patiño-Gó-



**Figura 6.** Temperaturas máximas en la estación 26068, Sonora (Martínez-Austria *et al.*, 2014).

mez, 2011). El impacto en el escurrimiento no ha sido estimado, pero ejercicios en algunas cuencas del norte muestran que el escurrimiento se reducirá hasta en 27% (Rivas *et al.*, 2010).

En el otro extremo, existe evidencia de que el número de huracanes con categorías 4 y 5 se ha incrementado en las últimas décadas, con el consecuente mayor riesgo de precipitaciones intensas e inundaciones, tanto en el Atlántico como en el Pacífico.

En México, diversos análisis demuestran que ya se registran incrementos importantes en la temperatura, en la región norte de nuestro país. Por ejemplo, en la figura 6 se muestra la evolución de la temperatura máxima en el verano (junio-agosto) en la estación 26068 ubicada en la cuenca del río Yaqui, en Sonora.

## CONCLUSIONES

La cantidad de desastres naturales relacionados con eventos hidrometeorológicos en el mundo muestra una clara tendencia de incremento en las décadas recientes. Si bien el número de muertes ocasionadas por estos fenómenos ha disminuido, el costo económico y social es cada vez mayor. El cambio climático incrementará el riesgo y el número de estos desastres, y la sociedad debe prepararse mediante mejoras en la resiliencia y medidas de adaptación. Por su ubicación geográfica, México es uno de los países más vulnerables a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, por lo que se recomienda el diseño de programas efectivos de adaptación y sistemas de alertamiento temprano.

## REFERENCIAS

- Bates, B. C., Kundzewics, Z. W., Wu, S. y Palutokpf, J. P. (eds.). (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper vi of the ipcc. Secretariat.
- CENAPRED. (2012). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres Secretaría de Gobernación.
- Cerano, J., Villanueva, J., Valdez, R. D., Méndez, J. y Constante, V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 235-249.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Climate Change*, 2(1), 46-65.
- Dikari, Y. y Yoshitani, J. (2009). Global trends in water-related disasters: an insight for policymakers. *The United Nations World Water Assessment Programme*. Side Publications Series. ICHARM.
- FAO. (2013). DROUGHT FAO Land and Water Division. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf>
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P. y Below, R. (2014). *Annual disaster statistical review 2013. The numbers and trends*. Brussels, Belgium: Centre for research on the epidemiology of disasters (CRED), Université Catholique de Louvain.
- Martínez-Austria P. y Patiño-Gómez C. (eds.) (2011). *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Martínez-Austria P., Patiño, C. y Tamayo, E. (2014). Análisis de tendencias climáticas en la cuenca baja del río Yaqui, Sonora, México. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(V), 135-149.
- Mitchel, D. (2008). A note on rising food prices. World Bank. *Policy Research Working Paper 4682*.
- ONU (2011). *Informe de evaluación global sobre reducción del riesgo de desastres 2011: Revelar el riesgo, replantear el desarrollo*. Nueva York.
- Rivas, I., Güitrón, A. y Ballinas, H. A. (2010). Vulnerabilidad hídrica global: aguas superficiales. En Martínez-Austria, P. y Patiño, C. (eds.), *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ruiz, T. y Febles, G. (2004). La desertificación y la sequía en el mundo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 8(22), 3-16.

- Trostle, R. (2008).** Global Agricultural supply and demand: factors contributing to the recent increase in food commodity prices. *Outlook. A report from the economic research service*. EE. UU.: USDA.
- UNESCO. (2009).** Water in a changing world. The United Nations World Water Development Report 3. World Water Assessment Program. UNESCO y Londres: Earthscan.
- UNESCO. (2013).** *37 C/4 Medium-Term Strategy 2014-2021*. París: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- WMO. (2013).** The global climate 2001-2010. A decade of climate extremes. Summary. Geneva: World Meteorological Organization.





# Frío extremo en el norte de México<sup>1</sup>

David Eduardo Guevara-Polo

---

► 1. Publicado en abril de 2021 en el número 19 del boletín *Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos*.



En febrero de 2021 se presentaron temperaturas sumamente bajas en la costa este de Estados Unidos y en los estados del norte de México. Este clima extremo fue uno de los factores que contribuyeron a los apagones ocurridos en nuestro país en las mismas fechas, y por eso merece la pena hablar de él. Este hecho puede explicarse, en gran medida, a partir de dos fenómenos climáticos: la corriente de chorro polar (*polar jet stream*) y el vórtice polar (*polar vortex*).

Una corriente de chorro es una banda que transporta vientos a altas velocidades. Su ocurrencia se ha documentado no sólo en la Tierra, sino también en otros planetas como Júpiter o Saturno (NASA, 2018; NASA, 2012). En el contexto terrestre, se presentan en latitudes polares y tropicales. En este texto se hará énfasis en la corriente de chorro del polo norte. Ésta se presenta en la frontera entre la tropósfera (0-10,000 msnm) y la estratósfera (10,000-45,000 msnm), llamada tropopausa y tiene cientos de kilómetros de ancho y algunos kilómetros de espesor (UIUC, 2010). Los vientos que se transportan en ella pueden alcanzar velocidades desde 129 hasta 225 kilómetros por hora (National Geographic, 2021) y se producen gracias a la diferencia de temperaturas que existe en la atmósfera. En la figura 1 se muestra cómo la corriente de chorro aparece en la frontera entre la celda polar y la celda de aire templado. Es importante resaltar que la velocidad de los vientos en la corriente de chorro es proporcional a la diferencia de temperaturas en la frontera entre las celdas. De esta manera, cuando la diferencia es grande, las velocidades son mayores y, por el contrario, si es menor, la velocidad disminuye. Por ejemplo, en el invierno boreal las temperaturas en los polos disminuyen, lo que causa que la diferencia entre las temperaturas sea mayor y, así, las velocidades de los vientos sean más altas, mientras que, durante el verano, las temperaturas en los polos aumentan, reduciendo la diferencia entre las temperaturas y, por consecuencia, también la velocidad.

Por otro lado, de acuerdo con la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, el vórtice polar (*polar vortex*) es una gran superficie de bajas presiones y aire frío que cubre los polos de la Tierra y, en particular, el polo norte. Este fenómeno es ilustrado en la imagen izquierda de la figura 2. Como se mencionó antes, durante el invierno boreal se incrementa la fuerza de la corriente de chorro y el vórtice polar se extiende hacia el sur, como se muestra en la imagen derecha de la figura 2. En efecto, en la figura 3 se muestra cómo el vórtice polar cubre una gran parte del este de Estados Unidos lo que causa un clima frío, mientras que, en la costa oeste, ocasiona un clima cálido.

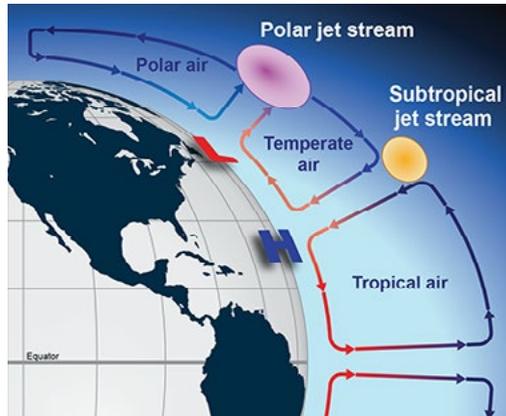


Figura 1. Sección transversal de la corriente de chorro. Recuperada de NOAA (2021a).

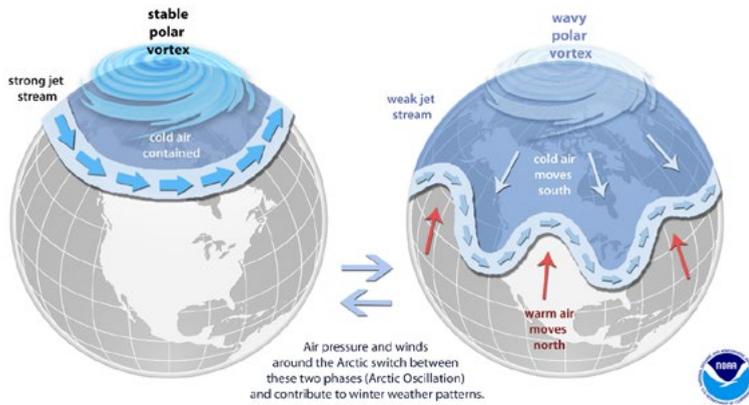
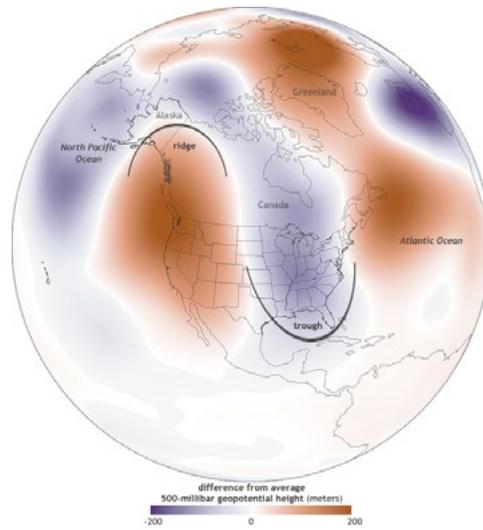
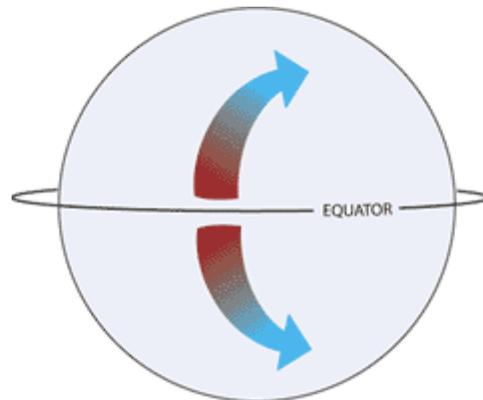


Figura 2. Ilustración de la corriente de chorro y el vórtice polar. Adaptada de NOAA (2020).



**Figura 3.** Efecto del vórtice polar en el clima en Estados Unidos. Recuperada de Lindsey (2014).



**Figura 4.** Ilustración del efecto Coriolis. Recuperada de NOAA (2021b).

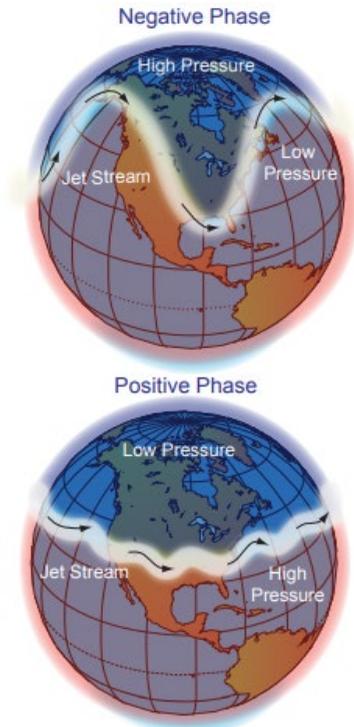


Figura 5. Ilustración de la AO. Recuperada de NOAA (2010).

**A Deep Cold**  
 During the second week of February, cold air descended from the Arctic and covered much of North America with temperatures below freezing.

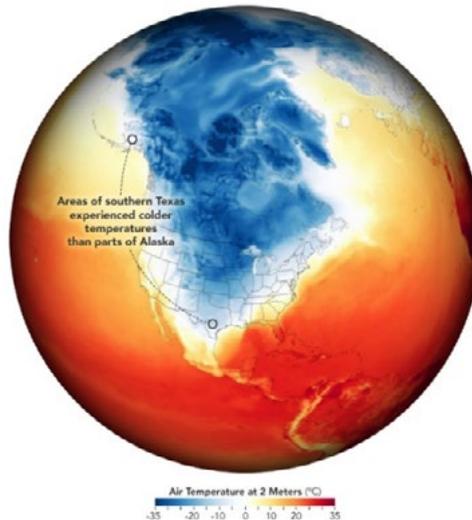


Figura 6. Diferencias en las temperaturas de EE. UU. Recuperada de NASA (2021).

Ahora bien, un aspecto de este fenómeno que vale la pena destacar es la aparición de meandros en la corriente de chorro polar, es decir, la trayectoria en zigzag que sigue la corriente cuando se acerca al Ecuador. Ésta se debe sobre todo a tres procesos: la fuerza de Coriolis, las ondas de Rossby y la oscilación del Ártico (AO, por sus siglas en inglés). La primera se refiere a la desviación que sufren las corrientes por la rotación de la Tierra, la cual sucede en sentido horario en el hemisferio norte y en sentido antihorario en el hemisferio sur (figura 4), mientras que las segundas son ondas atmosféricas que buscan reestablecer la distribución de la temperatura en el planeta ya que ésta es desigual debido a la curvatura terrestre, la distribución heterogénea de la masa continental y el relieve. Por último, de acuerdo con la NOAA, la AO es un modo de variabilidad climática caracterizado por vientos circulando en sentido antihorario alrededor del ártico. En su fase positiva, los vientos de la corriente de chorro se fortalecen y confinan la masa de aire polar, mientras que en la fase negativa los vientos se debilitan, lo que permite que el aire frío se desplace hacia el sur. Este fenómeno se ilustra en la figura 5.

Como se puede apreciar, la interacción de muchos elementos fue la que ocasionó las excepcionales temperaturas de febrero de 2021, lo cual refleja la naturaleza sistémica del clima. Ahora bien, vale la pena preguntarse ¿la ocurrencia de este evento particular es atribuible al cambio climático? Es importante aclarar que es imposible afirmarlo de manera categórica. Dicho de otra forma, no puede decirse que un evento específico fue causado por el cambio climático o no en términos absolutos. En realidad, son cuestiones de probabilidad. En efecto, se ha sugerido que, con el cambio climático y el consecuente derretimiento del polo norte, la temperatura de esta región se incrementará, reduciendo la diferencia de temperaturas con la región tropical y favoreciendo la inestabilidad del vórtice polar (uc Davis, 2021). Así, puede esperarse que se incremente la probabilidad de que ocurran eventos extremos como los de febrero de 2021.

Por último, vale la pena señalar que estos fenómenos tienen una influencia global ya que desencadenan las condiciones meteorológicas en todo el hemisferio norte, aunque recientemente se prestó atención a este fenómeno en el norte de nuestro país y el sur de Estados Unidos. Como se ilustra en la figura 6, hubo regiones de Texas que sufrieron temperaturas más bajas que regiones de Alaska en el mismo instante. Adicionalmente, el clima extremo afectó los servicios de gas natural, electricidad y agua potable. Esto pone en evidencia la

necesidad de desarrollar infraestructura que sea resiliente a este tipo de fenómenos, formular protocolos para estas circunstancias y comunicar en forma efectiva los riesgos a la población. Gestionar de manera adecuada riesgos hidrometeorológicos como éste es fundamental para alcanzar la seguridad hídrica en México.

## REFERENCIAS

- Lindsey, R. (16 de septiembre de 2014).** U. S. temperature extremes and the polar jet stream. Recuperado de <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/us-temperature-extremes-and-polar-jet-stream#:~:text=The%20polar%20jet%20is%20a,at%20mid%2D%20and%20polar%20latitudes.&text=The%20places%20where%20the%20jet,-to%20the%20south%20to%20stagnate>
- NASA. (2012).** Cassini Shows Why Jet Streams Cross-Cut Saturn. Recuperado de [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/cassini/whycassini/cassini20120625.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/whycassini/cassini20120625.html)
- NASA. (2018).** NASA Juno Findings - Jupiter's Jet-Streams Are Unearthly. Recuperado de <https://solarsystem.nasa.gov/news/347/nasa-juno-findings-jupiters-jet-streams-are-unearthly/>
- NASA. (2021).** Extreme Winter Weather Causes U. S. Blackouts. Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147941/extreme-winter-weather-causes-us-blackouts>
- National Geographic. (2021).** Jet stream. Recuperado de [https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/jet-stream/#:~:text=Jet%20streams%20travel%20in%20the%20tropopause.&text=Jet%20streams%20are%20some%20of,\(275%20miles%20per%20hour\)](https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/jet-stream/#:~:text=Jet%20streams%20travel%20in%20the%20tropopause.&text=Jet%20streams%20are%20some%20of,(275%20miles%20per%20hour))
- NOAA. (2010).** State of the climate in 2010. Recuperado de <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/bams-sotc/2010/bams-sotc-2010-brochure-hi-rez.pdf>
- NOAA. (2020).** The science behind the polar vortex: You might want to put on a sweater. Recuperado de <https://www.noaa.gov/multimedia/infographic/science-behind-polar-vortex-you-might-want-to-put-on-sweater>
- NOAA. (2021a).** nws JetStream. Recuperado de <https://www.weather.gov/jetstream/jet>

- NOAA. (2021b).** The Coriolis Effect. Recuperado de [https://oceanservi-ce.noaa.gov/education/tutorial\\_currents/o4currents1.html#:~:text=Because%20the%20Earth%20rotates%20on,is%20called%20the%20Coriolis%20effect.&text=But%20because%20the%20Earth%20rotates%2C%20circulating%20air%20is%20deflected](https://oceanservi-ce.noaa.gov/education/tutorial_currents/o4currents1.html#:~:text=Because%20the%20Earth%20rotates%20on,is%20called%20the%20Coriolis%20effect.&text=But%20because%20the%20Earth%20rotates%2C%20circulating%20air%20is%20deflected).
- uc Davis. (2021).** What Is the Polar Vortex? Recuperado de <https://climatechange.ucdavis.edu/climate-change-definitions/what-is-the-polar-vortex/#:~:text=How%20is%20the%20Polar%20Vortex%20Affected%20by%20Climate%20Change%3F&text=The%20change%20is%20warming%20higher,bringing%20polar%20air%20farther%20south>.
- UIUC. (2010).** Jet Stream. Recuperado de [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/cyc/upa/jet.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/cyc/upa/jet.rxml)



# ¿Qué comer en un mundo que hierve?

## Alimentos que contribuyen al cambio climático<sup>1</sup>

María Elena Cerecedo Arroyo

---

► 1. Artículo publicado en abril de 2021 en el número 19 del boletín *Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos*.



Si como habitantes de este planeta tenemos un poco de interés en el cambio climático, no podemos negar nuestra continua participación y responsabilidad en su incremento. Dicho esto, es importante tener en mente que nuestra alimentación incide de manera importante en el avance del cambio climático, así que es bueno estar informado sobre los alimentos que más contribuyen al calentamiento global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que generan desde su producción hasta su almacenamiento.

La huella de carbono es un concepto importante en la vida diaria y que invita a reflexionar sobre los hábitos de consumo y de alimentación en la actualidad. Básicamente es un indicador ambiental que ayuda a cuantificar y verificar el impacto ambiental de los GEI que han sido emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, actividad, proceso o algún producto. Se calcula por las etapas desde su producción, elaboración, transporte, hasta su almacenamiento; pasos en los que se liberan GEI en diferentes cantidades. Por lo tanto, la huella de carbono es una herramienta muy útil para el análisis de conductas o hábitos que contribuyen de alguna manera al aumento de emisiones, y medirla ayuda a planear estrategias sobre cómo se pueden mejorar (disminuir) y a concientizar a los usuarios a la hora de consumir algo (Ministerio del Medio Ambiente, s. f.).

## **AFECTACIONES POR PRODUCTOS ANIMALES**

Está comprobado científicamente que una gran aportación para frenar este problema sería intentar cambiar nuestra dieta y evitar que esté basada en carne o productos derivados de animales. La elaboración de los productos animales es responsable de hasta el 78% de las emisiones agrícolas a nivel global, situación que se sigue agravando continuamente (Drayer, 2020).

Esta demanda de alimentos provenientes de la industria animal es una situación que provoca entre muchas cosas: presión sobre el uso de tierras, aumento de emisiones de los GEI y muchas veces también presión sobre los recursos de agua. Sin embargo, en algunos contextos la producción de carne puede ser esencial para el alivio de la pobreza, beneficiar a algunos niños y poblaciones vulnerables en su estado nutricional, o para servicio de los ecosistemas de pastizales. Por tal motivo algunos autores sugieren la necesidad de estrategias que conduzcan a que los alimentos derivados de animales sean utilizados en función del contexto socioambiental de una región, para deter-

minar sus necesidades reales sin continuar dañando el medio ambiente y así lograr un consumo más consciente (Willet *et al.*, 2019).

Es importante señalar los trastornos que son provocados por el consumo en exceso de carnes como: enfermedad coronaria, enfermedades cardíacas, diabetes tipo 2, cáncer y enfermedades respiratorias; en conjunto, con impactos ambientales debido a las emisiones de GEI, uso de suelo para cultivo, uso de agua dulce y también la aplicación excesiva de fósforo y nitrógeno. Para evitar este tipo de efectos derivados del consumo de carne, es recomendable una dieta que enfatice la ingesta de frutas, verduras, legumbres, nueces, semillas, cereales integrales y de pescado; haciendo hincapié en la reducción del consumo de azúcar y de las carnes rojas o procesadas. El cambio de dieta predominante en carne a una más diversa que sea basada en plantas puede reducir las emisiones de GEI. En el artículo «Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems» se sugiere que una dieta a base de plantas reduce también el uso de fertilizantes y el consumo de agua.

Las vacas, por ejemplo, necesitan de una gran cantidad de alimento, lo que al final significa enorme consumo de agua para incrementar su peso corporal. De igual forma, estos animales son grandes emisores de metano, las vacas emiten aproximadamente diez veces más GEI por kilogramo de carne que los cerdos y los pollos, que a su vez emiten aproximadamente diez veces más que las leguminosas. Es innegable que las plantas también utilizan agua y suelo para crecer, sólo que las cantidades son significativamente menores (Drayer, 2020).

Se estima que adoptar dietas a base de plantas reducirá impactos ambientales, como los provocados al usar fertilizantes, y se podrá ahorrar hasta un cuarto de uso tanto en tierras agrícolas como en agua dulce (Willet *et al.*, 2019).

## EL IMPACTO AMBIENTAL Y LA HUELLA DE CARBONO

La cadena de suministro de alimentos es un proceso complejo que conlleva diversos pasos, por lo general consta de siete: cambio en el uso de tierras, granja, alimentación animal, procesamiento, transporte, la venta a minoristas (*retail*) y finalmente el empaquetado.

Estas etapas son importantes y perjudiciales —respecto de su huella de carbón— en su escala, la alimentación de los animales cada vez consume más recursos, lo cual implica más daños, el transporte debido a la alta demanda también produce grandes cantidades de emisiones, etc., pero todas aumentan

o disminuyen en función de la variedad animal que involucre, por tal motivo es importante mencionar de manera general las emisiones producidas en las etapas de la cadena de suministro de alimentación:

Cambio en el uso de tierra	Cambios debidos a la deforestación (por ejemplo, biomasa o carbono del suelo).
Granjas	Emisiones de metano de las vacas, emisiones por fertilizantes, estiércol y por maquinaria agrícola.
Comida de animales	Emisiones debidas a la producción de cultivos para alimentar ganado.
Procesamiento	Emisiones derivadas del uso de energía en el proceso de conversión de productos agrícolas en alimentos finales.
Transporte	Emisiones derivadas del uso de energía en el transporte de alimentos (nacional e internacional).
Retail	Emisiones derivadas del uso de energía en refrigeración y en procesos minoristas.
Empaquetado	Emisiones derivadas de la producción del material de embalaje, transporte de materiales y eliminación final de su vida útil.

**Tabla 1.** Posibles emisiones en la producción, almacenamiento y distribución de un producto. Elaboración propia con información de Poore y Nemecek (2019).

La diferencia entre la magnitud de las emisiones va muy de la mano con la cantidad de demanda, es por esta razón que lo que comemos tiene un impacto significativo en las emisiones de GEI en el ambiente.

A través de la cadena de suministro de alimentos se emiten alrededor de 13,700 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) en el mundo. A través de diversos estudios se ha encontrado que la carne de res y otros productos animales son los causantes de un efecto exponencial en las emisiones (Poore y Nemecek, 2019; Neufeld, 2020). A continuación, se encuentran algunos tipos de productos y sus emisiones:

Alimento	Emisiones de GEI por 1 kg de producción
Carne de res	60 kg CO <sub>2</sub> e
Cordero	24 kg CO <sub>2</sub> e
Queso	21 kg CO <sub>2</sub> e
Chocolate	19 kg CO <sub>2</sub> e
Café	17 kg CO <sub>2</sub> e
Camarón	12 kg CO <sub>2</sub> e
Aceite de palma	8 kg CO <sub>2</sub> e
Carne de cerdo	7 kg CO <sub>2</sub> e
Carne de aves	6 kg CO <sub>2</sub> e

**Tabla 2.** Alimentos y sus GEI producidos por un kilogramo de producción. Información de Neufeld (2020).

Es claro que las emisiones difieren mucho en función del tipo de alimento, pero en promedio la comida a base de plantas es de 10 a 50 veces más baja en comparación con la comida de origen animal.

## DIETAS ALTERNATIVAS

Es perceptible que muchas personas están integrándose a tener cambios en su dieta cotidiana y están probando alternativas con comida a base de plantas, por lo que en un futuro podrían existir cambios significativos en los daños derivados de la cadena de suministro de alimentos.

Entre más consciente e involucrada esté la población en temas del cambio climático, habrá reducciones importantes en el consumo de productos cárnicos. Las dietas que se discuten a continuación se escriben como una buena alternativa para reducir drásticamente las emisiones de GEI y, en consecuencia, la huella de carbono:

- \* **Flexitariana:** viene de los términos «flexible» y «vegetariana» este tipo de dieta es basado en plantas, frutas, semillas, etc., pero también se pueden consumir de manera moderada aves de corral, carnes rojas, pescados, leche y huevos. Este tipo de dieta es muy flexible, permisible, no estricta, pero sí ayudaría mucho a la mitigación del incremento en las emisiones de gases y el gasto en exceso del agua.

# EL AMARANTO

INFOGRAFÍA DE  
MARÍA ELENA CERECEDO ARROYO

## ¿QUÉ ES EL AMARANTO?

Es un tipo de hierba distribuida en las zonas templadas y tropicales. Crece en climas fríos y secos, y también en suelos pobres y húmedos. Es una de las fuentes más importantes de proteína vegetal, minerales y vitaminas naturales (A, B, C, B1, B2, B3), ácido fólico, calcio, hierro y fósforo.



## UN SÚPER ALIMENTO

Contiene el doble de proteína que el arroz y el maíz, y la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos lo describe como **el mejor alimento de origen vegetal para consumo humano**. Por su alto contenido de fibra se le atribuye que puede prevenir el cáncer de colon.



## CON LOS AZTECAS...

Se estima que se aprovechaba desde hace 5 mil a 7 mil años, se utilizaba como verdura. Su importancia alimentaria y religiosa fue similar al maíz, frijol, chile en diversas provincias Aztecas y fue uno de los cultivos más extendidos en la época prehispánica.



## ¿CÓMO SE USA?

Se utiliza como harina, granola, tamal, atole, galletas, sopas, en bebidas y en las alegrías. Es de fácil digestión, ligero y muy nutritivo. Existen cerca de 70 especies, de las cuales 40 son nativas del continente Americano, el resto tiene origen en Australia, África, Asia y Europa.



## SABÍAS QUE..

El amaranto es una de las mayores fuentes de proteína vegetal y sirve como un superalimento, forma parte de la dieta de astronautas en la **NASA** y fue utilizado desde 1985 en la nave espacial **Atlantis**.



- \* **Vegetariana:** en la dieta vegetariana se debe excluir principalmente todo tipo de proteína animal, es decir, carnes, ya sean de res, cerdo, aves, mariscos, pescados, etc.; sin embargo, el consumo de productos animales como huevo, lácteos y sus derivados es permitido.
- \* **Vegana:** el veganismo es más estricto debido a que se debe de excluir cualquier tipo de producto animal: huevo, leches, miel, etc. Es la dieta ideal para frenar las emisiones de gases o el uso excesivo de agua. Cuando se practica esta dieta se debe acompañar de algunas vitaminas adicionales y proteínas vegetales para no sufrir una descompensación.

Se dice que los granos básicos de México (el maíz, frijol, arroz y trigo) son alimentos indispensables para garantizar la seguridad alimentaria del país; sin embargo, se han olvidado de un alimento muy importante desde tiempos ancestrales: el amaranto.

El amaranto fue cultivado y utilizado desde la época prehispánica por diferentes culturas pertenecientes al centro del país. Su aprovechamiento comenzó hace aproximadamente cinco mil años. Se podía utilizar como verdura, para preparar tamales o también tortillas. Tiene una gran aportación proteica y puede brindar de 2 a 3 veces más nutrientes que otros vegetales (tal como se aprecia en la infografía de la página anterior).

Aunque lo ideal sería estar dentro de una dieta estrictamente vegetariana o vegana, el que la gente pruebe dietas flexitarianas que logren reducir la ingesta de productos cárnicos, ayudaría enormemente a aminorar las emisiones y no quiere decir que se tenga que renunciar al consumo de productos derivados de animales en su totalidad.

## CONCLUSIONES

Continuar con las prácticas no conscientes de alimentación, como las que tenemos la mayoría de nosotros, seguirá favoreciendo el cambio climático, el aumento de fenómenos meteorológicos extremos, contribuirá a la desaparición de ecosistemas completos, dañará la biodiversidad y empeorará la contaminación de cuerpos de agua, entre otros problemas. Es necesario dejar de comer productos con una alta huella de carbón, en especial las carnes, y comenzar a ser más flexibles con nuestra dieta. No necesitamos grandes cantidades de proteínas porque ya no somos esos seres que caminan kilómetros día a día para

poder encontrar un animal, cazar una presa y proveer alimentos para nuestra familia. Debemos ser conscientes de que una alimentación a base de plantas nos puede proveer las proteínas que requerimos.

Las leguminosas, frijoles, lentejas, etcétera, son la fuente de proteína más sostenible en el planeta. Necesitan muy pocos insumos para crecer, se dan en ambientes difíciles, pueden proveer seguridad alimentaria para países en necesidad; son también un fertilizante natural, por lo que se recomienda su uso frecuente.

Hay que cambiar la creencia de que el consumo de carne es un sinónimo de fuerza, energía y poder, asociado muchas veces a la masculinidad, se necesita recordar que todos conocemos a alguien joven con problemas cardiovasculares, situación que implica tener enfermedades debido a los altos niveles de triglicéridos, colesterol o ácido úrico, las cuales pueden resultar en gota o incluso ciertos tipos de cáncer. Difundir nuevas recetas y el alto contenido de nutrientes de alimentos como el amaranto es clave para tener cambios en la dieta y así mejorar nuestro planeta.

La preocupación y ocupación de tener un mundo y una dieta más saludable debería ser cosa de hombres y de mujeres, la información de las aportaciones de proteínas se encuentra en interminables páginas web y siempre será recomendable ir con un nutriólogo para realizar un cambio de dieta de manera adecuada.

Cambiar la dieta alimenticia podría reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, frenar el gasto excesivo de agua y contribuir de manera significativa a la mejora en la salud de las personas gracias a un nuevo estilo de alimentación.

## REFERENCIAS

**Biodiversidad Mexicana. (2021).** Biodiversidad Mexicana. Recuperado de <http://www2.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/amaranto.html#:~:text=El%20amaranto%20o%20%E2%80%99Calegr%C3%ADa%20%E2%80%9D%2C,la%20planta%20como%20la%20semilla.>

**Capital Digital. (2017).** Capital México. Recuperado de <https://www.capital-mexico.com.mx/sociedad/amaranto-alimento-astronautas-nasa-fuente-proteinas-minerales-dieta-espacial/>



# La sequía en México durante 2019<sup>1</sup>

Regina Mijares-Fajardo

---

► 1. Artículo publicado en enero de 2020 en el número 14 del boletín *Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos*.



El presente artículo muestra una visión general del avance de la sequía en el país durante los meses de 2019. Es posible realizar este seguimiento gracias a la herramienta «Monitor de sequía en México» que publica el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Para estimar si un territorio presenta condiciones de sequía, y poder categorizar la intensidad del fenómeno (anormalmente seco, sequía moderada, sequía severa, sequía extrema, sequía excepcional), el SMN se basa en los siguientes índices e indicadores:

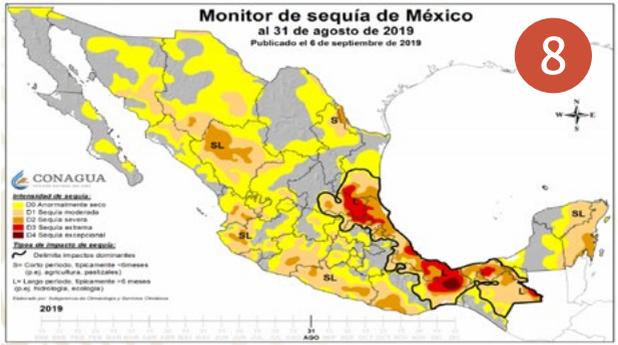
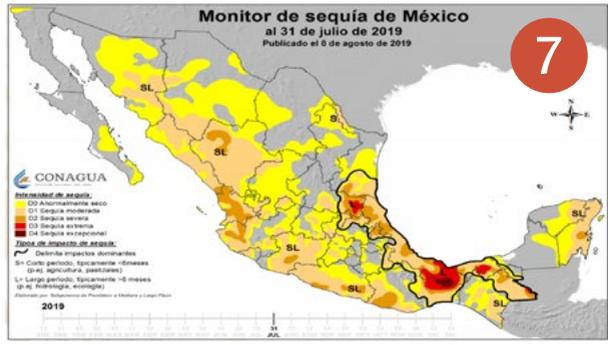
- \* Índice estandarizado de precipitación (SPI)
- \* Anomalía de lluvia en por ciento de lo normal
- \* Índice satelital de salud de la vegetación (VHI)
- \* Modelo de humedad del suelo Leaky Bucket CPC-NOAA
- \* Índice normalizado de diferencia de la vegetación (NDVI)
- \* Anomalía de la temperatura media
- \* Porcentaje de disponibilidad de agua en las presas del país
- \* Opinión de expertos locales

Las siguientes imágenes muestran el estado de sequía que presentaba el país, reportado hasta el último día de cada mes del año 2019, hasta el mes de noviembre.

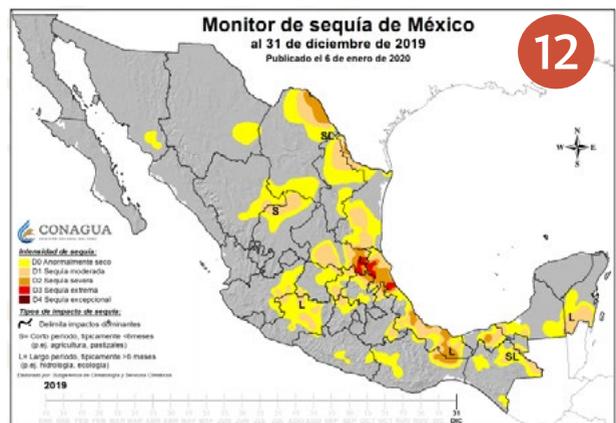
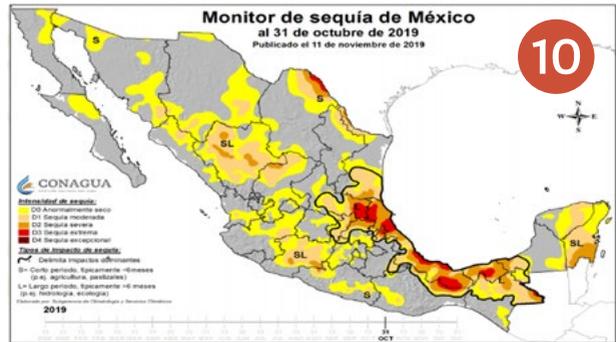
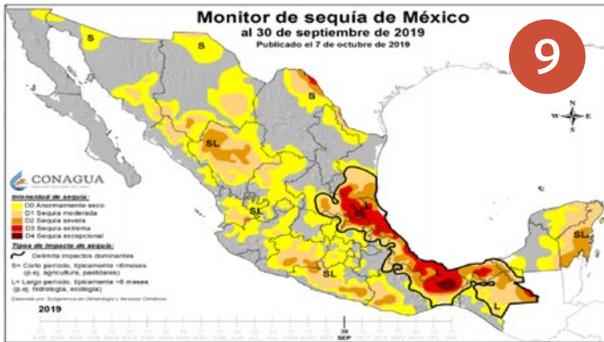
En los diagramas se puede observar que los meses con situaciones más críticas fueron agosto y septiembre. En el mes de agosto, el país se encontraba con el mayor porcentaje de sequía del año —de 47.2%— (SMN, 2019), asimismo, «agosto de 2019 se ubicó como el decimoquinto agosto más seco en los registros históricos, acumuló 110.8 mm de lluvia a nivel nacional, que representan un déficit del 17.8 % respecto al valor promedio (1981-2010) para un mes de agosto, que es de 134.7 mm» (SMN, 2019). Las regiones más afectadas, como se observa en los mapas, fueron el golfo norte y el golfo centro.

Por otro lado, septiembre fue el mes que presentó mayor porcentaje de territorio cubierto por una sequía excepcional —de 0.42%— (SMN, 2019). Sin embargo, las condiciones de sequía fueron disminuyendo a partir de este mes en adelante; eventos que se relacionaron con este cambio fueron las tormentas tropicales Fernand y Narda, junto con el huracán Lorena, los cuales proporcionaron condiciones que favorecieron la recuperación de humedad en el terreno.

Estos meses (agosto y septiembre), al constituir aproximadamente la mitad de la temporada de lluvias, son críticos para la agricultura y ganadería. Para



Fuente: Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional



estados ubicados en el centro del país, donde la agricultura que se practica es de temporal, las sequías tienen un impacto significativo en la economía. De igual manera, en el sector ganadero, la sequía dejó secuelas importantes. Aquí se puede observar que, aunque los niveles de sequía reportados por el SMN disminuyeron, en algunas regiones del país sigue teniendo repercusiones sustanciales.

Por último, los meses de octubre y noviembre fueron excepcionalmente húmedos, lo que ha permitido al país recuperarse de la condición de sequía que se registró durante el verano.

## REFERENCIAS

**Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN). (2019) *Monitor de Sequía en México*. Gobierno de México. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>**

# Probable effects of climate change on infectious diseases in North America<sup>1</sup>

José Luis Sánchez-Salas

Ana Margarita Maldonado-Barragán

Silvia Reyna

---

► 1. Artículo publicado en septiembre de 2018 en el número 6 de la revista *Entorno UDLAP*.



Over the past decades, public and official concerns about infectious diseases as a major public health threat have been renewed. The type of disease—classical, emerging or re-emerging—like tuberculosis, cholera, typhoid fever or dengue, the country in question developed or developing, and its location—semi-desert, sylvatic or mountain region—defines the kind of concern. However, it is important to consider climate change, and its current and further effects, with the consequent variations in different zones. Distinct regions will be affected in different ways depending on their people, health systems, population size, infrastructure, type of construction material (wood, concrete, or makeshift materials), whether settlements are located close to rivers, hills, or valleys, and certainly the local weather. In this paper, we analyze the effects of climate change on the prevalence of the most common waterborne diseases (i.e. typhoid fever, cholera, amoebiasis, cryptosporidiosis, hepatitis A).

## INTRODUCTION: CLIMATE CHANGE

Several simulation models on climate change indicate that temperatures will increase, resulting in ice melting at the earth poles (CDIAC, 2014, ESS-DIVE, 2018). If this prediction proves true, one of its most likely consequences will be flooding in places close to shores and the reduction of free land. This ice melting will be the consequence of different conditions. One of them is the reduction of the ozone layer by fluorocarbons due to anthropological release—even though its production and usage have been forbidden. Fluorocarbons have a long life span so, according to the EPA (EPAA, 2014) experts. Even if releasing these compounds were to stop right now, the ozone layer will restore in about 50 years (EPAB, 2014). Another factor that increases global temperature is the accelerated production of greenhouse gases like CO<sub>2</sub> by the combustion of fossil fuels (EPAC, 2014). It has been estimated that since 1751 approximately 400 billion metric tons of carbon have been released to the atmosphere derived from the combustion of fossil fuels and cement production. The 2007 global fossil-fuel carbon emission estimate—8,365 million metric tons of carbon—represents an all-time high and a 1.7% increase from 2006. (Boden, *et al.*, 2010; CDIAC, 2014 ESS-DIVE, 2018).

This scenario indicates what could happen if there is a slight temperature increase in our environment, not only affecting ice melting, but also air, water, and soil temperatures increasing as well. The ice melt will increase and, as a consequence, sea levels and flooding in coastal areas will rise too. An increased

air temperature will reduce the dissolved oxygen in the sea and at higher altitudes, reducing oxygen concentration. Oxygen reduction in turn will affect aerobic organisms (aquatic and terrestrial macro and microorganisms). However, the temperature increase will permit the growth of organisms, mainly pathogens or their vectors, in places considered cold. In other words, it will change the cold climate to tropical.

## RELATIONSHIP

The effects of climate change will alter the complex interaction of host and infectious agents (parasites). Climatic variability has a direct influence on human behavior, which has an impact on the transmission pattern of infectious agents. For example, during cold seasons people stay in closed environments, which explains why respiratory infections increase in this period, the reason being that the respiratory pathogens are transmitted by air, and if one subject is infected the pathogens will be transmitted easily to others. On the other hand, gastroenteritis in the warm months is associated with activities like going to the beach, eating outdoors, and exposure to recreational water (WHO, 2003). Climate change can also modify the anthropologic migration patterns, which will alter infectious diseases dissemination, affecting also human settlements and the health structure of every country (Meléndez-Herrada, *et al.*, 2008; Feng, *et al.*, 2010).

Climate patterns change important physical components of ecosystems, and that too will affect all living things including microorganisms, insect vectors, animal reservoirs, and sensitive people, changing the incidence and distribution of infectious diseases. The geographic and population dynamics of insect vectors also have a strong relationship with temperature patterns, rain, and humidity. A temperature rise can accelerate the metabolic rate of different insects, affecting their egg production and the frequency of biting. Rain has a direct effect on the longevity of vectors because it provides the proper conditions for insect habitats and extends the geographical distribution and seasonal abundance of such vectors (Mellor & Leake, 2000; Ostfeld 2009).

Climate has a direct impact on a pathogen's development, like virus, bacteria, or other parasites, which cannot complete their life cycle due to the need for optimal temperature that affects their replication or reproduction. If temperature increases in places regularly considered cold, it could lead to an increase

in multiplication by extending its spread and consequently raising infectious diseases too (WHO, 1999, Kuhn; *et al.*, 2005).

All seasonal variations like temperature, water precipitation, and availability of nutritional resources have a strong influence on a microorganism's population dynamics. For example, in rainy and mild seasons an average temperature of 15°C favors an increase in malaria transmission (Hoshen & Morse, 2004), while dengue shows two peaks of incidence that correspond to the rain and warm-dry seasons (Watts, *et al.*, 1987). Diarrheic diseases like cholera also show two peaks of incidence, one during spring and the second in the fall, because it is well documented that rain and warm temperatures influence the pathogen's survival and its transmission (Pascual, *et al.*, 2002). An increase in temperature and water level can drive the rise of an infectious disease transmitted by water like cholera; likewise, an increase in sea level will reduce arable land, augmenting nutrition problems, which will generate changes in the immune response of people and increased susceptibility to different infectious diseases.

The relationship between ecosystems, infectious disease, and climate change is more marked in developing countries like Mexico than in developed countries such as the us. Since in developed countries the quality of health services has improved, (i.e. access to quality drinking water), they have lowered the population's exposure to gastrointestinal pathogens and have better vector (arthropods) control programs, which reduce infectious diseases transmitted by such vectors. Developed countries also have a cold climate in general, which helps them to avoid the conditions favorable to the variety of vectors that transmit so-called «tropical diseases». Curiously, developing countries are mainly in tropical and subtropical regions.

### Effect of climate change on infectious diseases

Climate change can modify how infectious diseases are transmitted from animal or humans in three ways: a) increasing the reservoir animal or vector numbers, b) enlarging the transmission cycles, and c) importing vector or reservoir animals to new regions (Greer, *et al.*, 2008). according to the world health organization (WHO, 2005), the infectious diseases more related to climate are:

- \* Zoonotic diseases and those transmitted by vectors (dengue, Saint Louis encephalitis, yellow fever, malaria).

- \* Food and waterborne diseases produced by *Escherichia coli*, campylobacter, salmonella, shigella, vibrio, legionella, *Clostridium botulinum*, *Giardia*, *Cryptosporidium*, hepatitis.
- \* Respiratory diseases (influenza, *Streptococcus pneumoniae*).
- \* Fungi invasive diseases produced by blastomycosis, *Coccidioides immitis*, *Cryptococcus gattii*.

### » Food and waterborne diseases

Food and waterborne diseases are the main cause of mortality around the world and an important cause of morbidity in developing countries. In this group there are those produced by virus (Rotavirus and Norwalk virus), bacteria (*Legionella*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, and *Campylobacter*) or protozoan (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*). For example, *Campylobacter* and *Salmonella* are in the first places of incidence of foodborne disease in the US, according to the WHO (CDCC, 2014). On the other hand, a report of the National System of Health Information of Mexico's Ministry of Health (Sistema Nacional de Información en Salud-SINAIS, 2008), mentions that gastrointestinal diseases due to *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, Enteropathogen-E. coli (ETEC) or amoebas/worms are the 14th national cause of deaths and the main cause of child disease (four years old) and the fourth cause in children younger than a year (SINAIS, 2008); however, Aguilera and Marrufo (2007) and Duarte-Gómez, *et al.*, (2015), mention that these increase in low-resource areas without health services. A recent report informs that in 2014, intestinal diseases (infectious and other non-defined diseases) are the second cause of morbidity in Mexico (Soto-Estrada, *et al.*, 2016).

Waterborne diseases can spread not only by drinking contaminated water but also by eating different contaminated foods when these are not properly cooked or contaminated during preparation. Additionally, fresh vegetables can be a source of infections due to irrigation with contaminated water or exposure to recreational water (Rose, *et al.*, 2001). All these diseases can further be increased as a result of climate change because many of the biggest outbreaks of these diseases have been related to extreme water precipitation and flooding. During the rainy season, where huge storms occur, the water volume can exceed the soil's draining capacity and overflow wastewater treatment systems that can invade the regular water supply for cities (Rose, *et al.*, 2001; Hunter, 2003).

It has been registered that during hot seasons doctor's visits for gastrointestinal diseases increase up to 15% due to warm and hot weather. A higher temperature enhances the bacterial growth in food kept at room temperature (IMSS, 2010; Milazzo, *et al.*, 2016). Moreover, as the weather turns hotter, the ingestion of water increases without regard to water quality, which in developing countries usually does not have adequate sanitary conditions (Milazzo, *et al.*, 2016). This could explain why in those countries water and foodborne diseases are higher than in developed countries.

One of the routes of exposure to waterborne diseases is engaging in recreational activities, such as swimming and fishing, in contaminated waters. This leads to eye, ear, lung, and gastrointestinal infections (Wade, *et al.*, 2006). In addition, if climate change favors elevated temperatures, different pathogens that are usually absent, or have a low frequency in colder temperatures, will appear more often.

Another disease related to water is legionellosis, whose incidence is affected by climate change too. Legionnaire's disease (LD), a serious, sometimes lethal pneumonia, and Pontiac fever (PF), an influenza-like self-limited illness, are the two most common forms of legionellosis caused by *Legionella* bacteria. The peaks of incidence of this disease rise if the weather turns humid and the rain is more abundant because of the intensifying temperature (Fisman, *et al.*, 2005). The crude national incidence rate in the US increased 192%, from 0.39 per 100,000 habitants in 2000 to 1.15 in 2009 (CDCE and CDCF, 2014). Particularly, the east-south-central US had an annual incidence of 0.25 per 100,000 habitants in 2000, and for 2009 the incidence was 0.73 for the west-south-central (CDCF, 2014). This result was not associated previously with climate change but it should be analyzed. This could mean that if the weather changes to higher temperatures and humidity, the incidence of this disease will increase too.

### » **Gastrointestinal foodborne diseases**

The Social Security (Health) Mexican Institute (Instituto Mexicano del Seguro Social, IMSS), reported in 2010 an increase of up to 20% of gastrointestinal diseases as a consequence of high temperatures, humidity, and wind in the hot months of the year. In Mexico, these infections are among the top ten causes of medical attention demand (IMSS, 2010). The gastrointestinal incidence behavior is similar in different countries regularly in tropical (warm) zones; however, in cold countries the gastrointestinal morbidity is low. Again, if climate change modifies the temperatures in these cold countries, the probability of gastroin-

testinal morbidity will increase too. Considering that in hot seasons high temperature favors strong winds and, as a consequence, the amount of dust in the environment increases, this condition, along with bad personal hygiene habits, poor sanitary conditions on the street and food establishments, and higher consumption of contaminated water become the main factors that contribute to increasing the index of gastrointestinal infections like hepatitis and typhoid fever in Mexico (IMSS, 2009) or places with similar characteristics. At the same time, high temperatures improve the multiplication rate of pathogens, driving the number of pathogens in water or foods (Kendrovski & Gjorgiev, 2012) to reach the infective doses of bacteria that produce disease.

According to the surveillance system of infectious disease outbreaks, food-borne diseases in the US during 2009-2010 registered 790 outbreaks of gastrointestinal illness; Norovirus caused 42% and *Salmonella* 30%, while 82% were produced by *Listeria*. Another study by Kistemann *et al.* (2012) tried to find a relationship between climate change and the incidence of diseases transmitted by food and water; they concluded that the infections caused by *Campylobacter* were associated with air and water temperature, although this association was not always consistent. Nevertheless, there exists a better-known relationship with rainfall than with an increase in temperature.

On the other hand, *Salmonella* infections are more related to air temperature, and it is believed that around one-third of salmonellosis cases can be attributed to temperature influence. The relationship between salmonellosis and intense rain periods in regions with temperate and tropical climates has been documented extensively; however, there is little information about the presence of these bacteria in dry regions. In the study of Simental and Martínez-Urtaza (2008), on the coast of Baja California Norte, Mexico, the presence of *Salmonella* in coastal areas was demonstrated to be directly related to rainy periods and negatively to high temperature, probably due to the high solar radiation, which can affect the presence of these bacteria in the environment.

It is known that different chemical and physical factors, like ionic strength, organic concentration, pH, oxygen levels, temperature, water activity, heavy metals presence, number and kind of microorganisms, etc., affect the growth of microorganisms. The temperature has a direct influence on the multiplication rate of different bacteria having a microorganism classification according to the optimal temperature growth as psychrophilic, mesophylls, and thermophiles organisms (Madigan, *et al.*, 2011).

- \* Psychrophilic: Microorganisms with the capability to grow below 0°C, although the optimum growth temperature is from 15°C to 20°C for obligated psychrophilic and up to 30°C for facultative. Examples of these microorganisms are *Flavobacterium* and *Polaromonas*.
- \* Mesophylls: Microorganisms with the capacity to grow between 25°C and 40°C, with optimum growth temperatures around 37°C. The majority of human pathogens belong to this group.
- \* Thermophiles: Microorganisms with an optimum growth temperature of 45°C. There are facultative thermophiles growing between 50°C and 60°C. The extreme thermophiles can grow at up to 113°C.

It is also well known that bacterial cells have an optimum temperature at which they reach their maximum division rate, which is defined by generation time. Higher values of generation time correspond to a slow division cell rate and vice versa. Therefore, at room temperature, bacterial cells have a particular generation time and can divide faster (grow) if temperature increases. We wanted to know the difference when *Escherichia coli* is submitted at different temperatures in the presence of organic matter. In order to know that, a volume of 250 mL of *E. coli* was grown at different temperatures —15, 17, 20, 23, 25 27, 29°C— in 500 mL flasks containing distilled water and 0.1% of yeast extract (BBL) (to mimic the organic matter in water) and shaking at 2500 rpm in a water bath. The growth was measured by reading the absorbance at 600nm followed by 180 minutes to have exponential growth. The absorbance was registered and the generation time of these bacteria was calculated (generation time is the time needed to duplicate its population) at each temperature. The results are depicted in table 1 and, as expected, at higher temperatures the bacteria grew faster. These data indicate that in fact, higher temperatures will affect the duplication time of *E. coli* and that this effect will be similar (proportional) for other pathogens as is discussed below.

## Cholera

Climate conditions affect not only the abundance of enteric bacteria in food or water but also non-enteric pathogens that are present in the environment like *Vibrio*. Several species of this genus are autochthonous in estuary ecosystems and, depending on the water temperature, have different multiplication rates (generation time). *V. parahaemolyticus* and *V. vulnificus* are responsible for the most infections related to seafood consumption and in wound infections

exposed to recreational water (Lipp *et al.*, 2002). All *Vibrio* species including *V. cholerae* (responsible of cholera disease) are found practically in all water bodies, associated strongly to plankton in a commensal o symbiotic relationship, mainly with copepods and other crustaceous with chitin exoskeleton and with aquatic plants, protozoa, and bivalve organisms. All these organisms are reservoirs, and the main source of these bacteria spreading (Vezzulli *et al*, 2010). Changing the temperature of the environment will modify its propagation to new places where they did not exist before, and as a consequence, these pathogens will appear in new geographic places considered cold.

Cholera is an acute diarrheal infection caused by ingesting food or water contaminated with the bacterium *Vibrio cholerae*. Around the world, 3-5 million cholera cases are estimated every year and 100,000-120,000 deaths occur due to this disease. In addition, it has a short incubation period, from two hours to five days, which enhances the potentially explosive pattern of outbreaks (WHO, 2008). Cholera is considered a re-emerging disease, possibly because it appears in new communities or in sites where it was absent for many years. However, this increase can be due to climate changes bolstered by conditions, which enhance the multiplication of this bacterium and its reservoirs. In a study by the International Centre for Diarrheal Research, Bangladesh (2009), a relationship was found between rainy seasons and cholera outbreaks because rainwater collects many nutrients in water bodies favoring the cholera reservoir.

Climate change due to global warming drives the increase of environmental temperatures and changes the rain patterns, together with increases in sea levels. This environmental temperature change increases the water temperature, enhancing the cholera bacteria multiplication. The rain in oceans produces a rise in the tide levels, which leads to floods and rising saltwater on the shores, favoring the presence of *Vibrio* in new zones (CCC, 2009; De Magny & Colwell 2009). Actually, cholera is a rare disease in the us, having around six cases per year (Newton, *et al* 2011). Furthermore, *Vibrio parahaemolyticus* can produce outbreaks associated with the consumption of oysters, as reported in the northeast of the us and Galveston, Texas. In the Gulf of Mexico it is also prevalent (CDC, 1999; CDC, 1993).

### Cryptosporidium

Cryptosporidiosis is a disease transmitted fecal-orally and is characterized by sudden diarrhea. Although this enteric disease is not the most common or

the most dangerous, it is especially dangerous because the cysts of *Cryptosporidium* are highly resistant to regular disinfectants. The parasite has low infective doses and, so far, there is no cure for this disease, which can be fatal to immunocompromised people.

Each year in the us, around 2 to 3 thousand cases appear by the ingestion of contaminated food or by drinking contaminated water from recreational swimming pools or lakes (Casman *et al.*, 2001). This parasite is spread by the oocyst, which is found commonly in wastewaters and treated waters. At a temperature of 4°C the oocysts can survive up to four months and can lose their viability at freezing temperatures (-20°C) or temperatures as high as 65°C (Becerril-Flores, 2014). According to the studies of Alum (2014), the soil temperature is one of the main factors to keep oocysts of *Cryptosporidium* viability. It is interesting that at a temperature of 37°C a reduction of the oocysts was observed, while when the oocyst was kept at 15°C by 10 days, no reduction of viability was noted.

It has been observed that rain patterns affect the increase of cases of cryptosporidiosis (Casman, *et al.*, 2001). All researches suggest that in low rain periods the oocysts of *Cryptosporidium* can be concentrated in underground water and, as rain falls, these oocysts are sent to water bodies that are commonly used for drinking (Lal, *et al.*, 2013). This can explain why the number of cases is higher in the rainy season.

Some studies showed that a rise in environmental temperature, swollen rivers, and pollution could boost cryptosporidiosis. However, climate change, by itself, is not considered a good factor for predicting the disease, because the effects of climate can be halted by good practices in water treatment technology and good regulations for drinking water (Britton, 2010).

### Amoebiasis

Amoebiasis is caused by the protozoan parasite *Entamoeba histolytica*. This protozoan is a very common and cosmopolitan human pathogen, which is transmitted to people by drinking contaminated water and occasionally by contaminated food. Around 10% of the world's population is infected with this parasite, and in developing countries and tropical zones, the prevalence can reach 50 to 80%. In Mexico, amoebiasis is still among the top 20 causes of morbidity, staying in fifth place in 2003 and eighth place in 2008 (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, 2011). In the us, from 1990 to 2007, 134 deaths by amoebiasis were identified; however, a reduction in this period of 18

years has been observed. Close to 40% of fatal cases were reported among residents from California and Texas, most of them born outside of the us (Gunter, *et al.*, 2011). A study by the Department of Public Health of California in 2001, reported a prevalence of 1.63 cases per 100 000 inhabitants in the us-Mexico border region. This value dropped to 0.91 cases per 100 000 inhabitants in 2006. In the same study, it was noted that the higher prevalence was among Hispanic people, compared with white people in San Diego, California, but this difference is considerably reduced when the entire state of California was taken into account.

This parasite has two living forms: one is the vegetative form called trophozoite, which is responsible for the clinical form, and the resistant phase called cyst, which is the infective form. Water or food contaminated with cysts are the sources of infection for humans; after their ingestion, the trophozoites are released in the intestine. However, many of these infections are asymptomatic, but in some individuals, it can produce gastroenteritis by the destruction of the mucosal layer, with consequent diarrhea and cramps and, in some cases, can overgrow and invade other organs (Shimokawa, *et al.*, 2012).

Amoebiasis is considered a waterborne disease too, and its spread is related to the water supply and its quality. The increase in water demand, and the deterioration of the accessibility of this resource, can lead the population to use poor quality water. During floods, droughts, and earthquakes, which can damage treatment plants leading to water contamination, water adequate for human consumption diminishes. A study by Nichols, *et al.* (2009) found an association of different diarrhea outbreaks with polluted water for human consumption due to extreme climate, particularly water precipitation. If there are suddenly big rainstorms in dry places, rainwater runoff drags feces from animals or humans, carrying all contaminants to rivers or underground water sources. This contamination is due to a loss in the filtration capacity of the soil, passing all contaminants directly to underground water. If the source of water for human consumption is underground, and if this water is untreated, all waterborne diseases will increase.

### Coccidioidomycosis

Coccidioidomycosis (CM) is a systemic fungal disease, endemic to desert zones of America, and produced by the dimorphic ascomycete fungus called *Coccidioides*. So far, two species, *C. immitis* and *C. posadasii*, have been identified. The most important zone for this disease involves the us-Mexico border, particu-

larly the western region, and the most affected us states are California, Arizona, Texas, New Mexico, Nevada, and Utah. In the Mexican territory, the most affected states are Baja California, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Zacatecas, and Durango (Bonifaz 2012). In Mexico, the actual situation for this disease is practically unexplored (Baptista *et al.*, 2007).

Recently, a relationship between diseases and atmospheric, climatic, and meteorological events has been noted (Kolivras and Comrie, 2003). Using models of environmental variables related to epidemiological information, Baptista-Rosas *et al* (2007) could identify the fundamental ecological niche of *Coccidioides* in arid soils and North American deserts. In addition, these authors conducted a study to try to establish the relationship between climate and meteorological events and the epidemiological information available in Baja California, Mexico, finding that the higher number of cases of coccidioidomycosis occurs during dry months preceded by rainy seasons (Baptista- Rosas *et al.*, 2010).

*Coccidioides* is a fungus that adapts to survive in environments with low water availability, even though this fungus requires total humidity for germination and growth. For spreading, it requires dry periods (Kolivras & Comrie, 2003; Comrie & Glueck, 2007). Two different bioclimatic patterns in the us-Mexico border have been observed. In Arizona, there is a relationship between the number of clinical cases and weather events, while in California this association is not constant suggesting that the higher prevalence of the disease is more related to other factors of anthropogenic source (Baptista 2010, Zender & Talamantes 2006). However, if climate changes in the future increase or reduces humidity, the fungus development (depending on a particular genus) will increase or decrease. Specifically, coccidioidomycosis will increase, as this fungus is from desert places.

### » **Viral infections**

Viruses are considered strict parasites that need to be inside the cell to use the metabolic cell system to reproduce. Viruses are conformed by nucleic acid (DNA or RNA) and surrounded by a protein layer called the capsid. A second membrane envelops some virus. The naked virus (without an extern membrane) are potentially more resistant to the environment, helping the virus to be viable for several weeks and keeping their capacity to infect and multiply in animals or humans, such as the virus that causes gastroenteritis, and particularly the enterovirus. The enveloped viruses, in general, are more sensitive to the envi-

ronment and this virus is not the exception and must be transmitted by direct contact among individuals or by vectors (Schvoerer, *et al.*, 2008). Global warming, as mentioned before, can produce increased rainfall in some places, while in others it will increase dryness. Rainfall and its accumulation favor conditions for mosquitos to multiply and several of their species can be the vector of many viral diseases. An increased multiplication of a particular mosquito (vector) can promote the transmission of different vector-borne diseases like dengue, zika, chikungunya, etc. Barrera *et al.* (2011) observed that rainfall is associated with an increase in the vector population of dengue (*Aedes aegypti*) since water containers in many houses are the ideal sites for developing larvae, pupa, and producing adult mosquitos. On the other hand, intense rainfall can wash away completely the containers with a negative effect on the vector population.

An increase in temperature accelerates water evaporation, limiting the number of water reservoirs that can act as a habitat for immature mosquitos. Even when the eggs are resistant to desiccation for long periods, mosquito development can be affected (Morin, *et al.*, 2013); but when precipitation is higher than evaporation mosquito reproduction will be higher. By contrast, in dry periods people habitually store water in open cisterns or containers that favor the development of mosquitos.

Climate change will also have an indirect impact on the distribution of viral diseases. Urban concentration facilitates the contact between humans, animals, and polluted water, spreading enteric and respiratory diseases as it happens with the influenza virus. The transmission of this virus is more prevalent in the cold seasons when people prefer to congregate in closed sites. Lowen, *et al.* (2007) demonstrate that the influenza virus is dependent on relative humidity (RH) and temperature. In an animal model, the transmission of the influenza virus was highly efficient at low RH (20-35%) and low temperatures (5°C).

Three mechanisms can explain the influence of RH and temperature on viral transmission. First, cold air can cause a dry nasal mucosa in the host, which can produce epithelium damage with consequent reduction of the muco-cilia layer, which leads to a higher susceptibility to viral infections. Secondly, the virus stability is highest at an RH between 20%-40%, medium at RH of 50%, and minimum at 60%-80% of RH. The third mechanism is related to bio-aerosols; at high RH, respiratory droplets take water from their environment and increase their size, falling faster, while at low RH water evaporation exists, which drives lower droplet formation favoring its presence in the air for a longer time (Lowen, *et al.*, 2007, Fuhrmann 2010).

Another factor that must be taken into account is viral inactivation by UV radiation, which can be modified by climate change. This factor plays an important role in rising influenza outbreaks. Low exposure to solar radiation favors the viability of the virus for several days after its release by a host. This situation is present in the rainy season due to an increase of cloud cover, and in dry seasons, when cases of wildfires produce smoke that also limits UV radiation (Sagripanti & Litle, 2007).

### Hepatitis A

One virus related to water is the hepatitis A virus (HAV), which is an RNA virus belonging to the Picornaviridae family. This virus infects the liver, and the infection may be either icteric or anicteric. The likelihood of icteric (clinically apparent) disease is inversely related to the age of the person acquiring HAV. In children younger than 6 years old, more than 90% of hepatitis A infections are asymptomatic. By contrast, more than two-thirds of older children and adults will develop jaundice after a hepatitis A infection (Lednar *et al.*, 1985). This disease is transmitted mainly when a healthy non-vaccinated person consumes food or water contaminated with human feces from a person infected with HAV. The disease is closely related to the lack of clean water and low sanitary infrastructure joined to bad personal hygiene (WHO, 2014). The waterborne outbreaks of HAV, although slightly frequent, are related to water contamination from wastewater or water sources with deficient quality treatment.

In the US, this disease is under control due to a vaccination program established in 1995 and applied in all American states with higher incidence (Committee on Infectious diseases, 2007). This report shows how the incidence of HAV dropped below 5% in 1999. It is worth noting that in this analysis the incidence of HAV, according to the race/ethnicity in the US, was higher in the Hispanic group and, certainly, the bigger proportion of Hispanic people is found in the border region.

In regions with a temperate climate, outbreaks of entero-virus appear during the summer and early fall seasons. These outbreaks suggest that temperature and relative humidity (RH) are important for this seasonality. However, particularly for HAV, cases appeared in some places not related to the season, or more related to wintertime.

In the study of Mbithy *et al.* (1991), it was observed that HAV survival—meaning that the virus has a longer lifespan—was inversely proportional to RH and temperature. They found that the lifespan of HAV was seven days

at low RH (25%), and 5°C, while at high RH ((95%) and 35°C it was two hours. This behavior is different from other enteroviruses that have a better survival rate at higher temperatures. Another issue to consider is UV radiation, which is expected to increase too; this radiation may promote mutations in the RNA genome that favor the origin of new strains for which the current vaccines will not prevent the disease.

The incidence of the diseases mentioned above will be affected by climate change. The analysis of the local climate change will give us an explanation of the emergence or re-emergence of these diseases. It is a fact that the cooperation and intervention of different disciplines and experts are needed: physicians, biologists, climatologists, epidemiologists, and certainly people involved in politics, infrastructure development, and government with all its secretariats. Understanding the relationship between climate change (events increasing or decreasing above or below the regular average behavior), emergence, and re-distribution of the diseases will require establishing stronger strategies to prevent large-scale catastrophes in the near future.

## CONCLUSIONS

Over the past decades, there has been renewed public and official concern about infectious diseases as a major public health threat. This depends on the type of disease (classical, emerging, or re-emerging), location, and the country's development. However, despite all efforts, we are not yet prepared to face climate change, which clearly will raise global temperatures. Overheating will affect the amount of rainfall, producing floods or droughts depending on the region, and altering the local weather. This means that infrastructure in cities and counties—and people—might not be prepared for these changes.

One of the main changes will be in the environment's soil, water, and air temperatures. These changes will favor the growth of different plants, insects, and microorganisms—in particular, human pathogens—without taking into account the danger from other species. Increasing the speed of growth, in most cases reaching the infective doses of different pathogens, or favoring the generation of new mutations of all parasites (i. e. the drug-resistant), or in the case of viral diseases the emergence of new strains against which existing vaccines will not work and health systems will be insufficient to control future outbreaks.

Active participation of the population will be important for making decisions and assuming actions towards planning and improving infrastructure in

all regions because climate change will affect the entire planet without exception. Participation should be strategically led by local authorities, and supported at federal levels, to achieve the expected environmental goals through law enforcement and by creating incentives. Another key strategy is the inclusion of different experts in areas such as medicine, biology, construction (houses, draining systems, water collecting, roads, bridges, etc.), economics, anthropology, among others, to have a better understanding and find the best options to face future problems holistically.

## REFERENCES

- Alum, A., Absar, I., Asaad, H., Rubino, J. R., & Ijaz, M. K. (2014). Impact of Environmental Conditions on the Survival of *Cryptosporidium* and *Giardia* on Environmental Surfaces. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious diseases*: 1-7
- Aguilera, N. & Marrufo, G. M. (2007). Can Better Infrastructure and Quality Reduce Hospital Infant Mortality Rates in Mexico? *Health Policy* 80, 239-252.
- Barrera, R., Amador, M. & MacKay, A. J. (2011). Population Dynamics of *Aedes Aegypti* and Dengue as Influenced by Weather and Human Behavior in San Juan, Puerto Rico. *PLoS Negl Trop Dis*, 5(12), e1378.
- Baptista-Rosas, R. C., Hinojosa, A. & Riquelme, M. (2007). Ecological Niche Modeling of *Coccidioides spp.* in Western North American Deserts. *Ann N Y Acad. Sci.* (1111), 35-46.
- Baptista-Rosas, R. C., Arellano, E., Hinojosa, A. & Riquelme, M. (2010). Bioclimatología de la coccidioidomycosis en Baja California, Mexico. *Boletín del Instituto de Geografía* (UNAM), (71), 21-30.
- Becerril-Flores, M. A. (2014). *Parasitología médica* (4<sup>th</sup> Ed.). México: McGraw-Hill/ Interamericana.
- Boden, T. A., Marland, G. & Andres, R. J. (2010). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/OOOO1\_V2010.
- Bonifaz, A. (2012). *Micología Médica Básica* (4.<sup>th</sup> Ed.). México: Méndez Editores.
- Briton, E., Hales, S., Venugopal, K. & Baker, M. G. (2010). The impact of climate variability and change on cryptosporidiosis and giardiasis rates in New Zealand. *J Water Health*, 8(3), 561-71.

- California Department of water resources. (2012).** Retrieved from [http:// www.water.ca.gov/waterconditions/drought/docs/Drought2012.pdf](http://www.water.ca.gov/waterconditions/drought/docs/Drought2012.pdf)
- Casman, E., Fischhoff, B., Small, M., Dowlatabadi, H., Rose, J. & Morgan, M. (2001).** Climate change and Cryptosporidiosis: a qualitative analysis. *Climate Change*, 50, 219-249.
- ccc. (2009).** Climate change and its impact on transmission dynamics of cholera. Climate Change Cell, DoE, MoEF; Component 4b, CDMP, MoFDM. Dhaka.
- cdc and Prevention (2014a).** Early Warning Infection Disease Surveillance (EWIDS) Program Activities on the Northern and Southern Border States. Retrieved from <http://www.bt.cdc.gov/surveillance/ewids/>
- cdc and Prevention (2014b).** Retrieved from <http://www.cdc.gov/usmexico-health/esp/guias-para-la-coordinacion.html>
- cdc and Prevention (2014c).** Retrieved from <http://www.cdc.gov/usmexico-health/esp/>
- cdc and Prevention (2014e).** Retrieved from [http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6203a1.htm?s\\_cid=mm6203a1\\_w](http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6203a1.htm?s_cid=mm6203a1_w)
- cdc and Prevention (2014f).** Retrieved from <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6032a3.htm>
- cdc and Prevention Foodborne Diseases Active Surveillance Network (2014c).** Retrieved from <http://www.cdc.gov/foodnet/data/trends/tables/table2a-b.html#table-2b>
- CDIAC (2014).** Annual Global Fossil-Fuel Carbon Emissions. Retrieved from [http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/tre\\_glob\\_2014.html](http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/tre_glob_2014.html)
- Comision de Salud Fronteriza Mexico-Estados Unidos (2010).** Frontera saludable (reporte de medio plazo). Frontera Norte de Mexico.
- Comision Nacional del Agua (Conagua) (2010).** Estadísticas del agua en México 2010. Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2010.pdf>
- Committee on Infectious diseases (2007).** Hepatitis A vaccine recommendations. *Pediatrics*, (120), 189-199.
- Comrie, A. & Glueck, M. (2007).** Assessment of climate-Coccidioidomycosis model. Model Sensitivity for assessing climatologic effects on the risk of acquiring Coccidioidomycosis. *Ann. N.Y.Acad. Sci.*, (1111), 83-95. Academy of Science: doi 10.1196/annals.1406.024

- Current Results (2014a).** Research news & Science fact. Retrieved from <http://www.currentresults.com/Weather/Texas/temperature-december.php>.
- Current Results (2014b).** Research news & Science fact. Retrieved from <http://www.currentresults.com/Oceans/Temperature/pacific-ocean-temperature-california-summer.php>
- De Magny, G. C. & Colwell, R. (2009).** Cholera and climate: demonstrated relationship. *Transactions of the American Clinical and Climatological Association*, (120), 119-128.
- Doyle, T. J. & Bryan, R. T. (2000).** Infectious diseases morbidity in the us region bordering Mexico, 1990-1998. *J Infect. Dis.*, 182(5), 1503-1510.
- Duarte-Gomez M. B., Nunez-Urquiza, R. M., Restrepo-Restrepo, J. A. & Richardson-Lopez-Collada, V. L. (2015).** Determinantes sociales de la mortalidad infantil en municipios de bajo índice de desarrollo humano en México. *Bol Med Hosp Infant Mex.*, 72(3), 181-189.
- EPAA (2012).** Retrieved from [http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/border-2012\\_indicator-rpt\\_eng.pdf](http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/border-2012_indicator-rpt_eng.pdf)
- EPAb (2012).** Retrieved from [http://www.epa.gov/ozone/science/sc\\_fact.html](http://www.epa.gov/ozone/science/sc_fact.html)
- EPAC (2012).** Retrieved from <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>
- ESS-DIVE (2018).** Environmental Systems Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem. Retrieved from <https://ess-dive.lbl.gov/>
- Fayer, R., Trout, J. M. & Jenkins, M. C. (1998).** Infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts stored in water at environmental temperatures. *J. Parasitol.*, 84, 1165-1169.
- Feng, S., Krueger, A. & Oppenheimer, M. (2010).** Linkages Among Climate Change, Crop Yields and Mexico-us Cross-Border Migration. Retrieved from <http://www.pnas.org/content/107/32/14257>
- Fisman, D. N., Lim, S., Wellenius, G. A., Johnson, C., Britz, P., Gaskins, M., Maher, J., Mittleman, M. A., Spain, C. V., Haas, C. N. & Newbern, C. (2005).** It's not the heat, it's the humidity: wet weather increases legionellosis risk in the greater Philadelphia metropolitan area. *J Infect Dis*, 192(2), 2066-2073.
- Fuhrmann, C. (2010).** The effect of weather and climate on the seasonality of influenza: what we know and what we need to know. *Geography Compass* 4(7), 718-730.

- Gersberg, R., Rose, M., Robles-Sikisaka, R. & Dhar, A. (2006).** Quantitative detection of hepatitis and enteroviruses near the United States-Mexico Border and correlation with levels of fecal indicator bacteria. *App. Environ. Microbiol*, 72(12), 7438-7444.
- Greer, A. & Fisman, D. (2008).** Climate change and infectious diseases in North America: the road ahead Canadian. *Medical Association or its licensors*, 178(6), 715-722. doi: 10.1503/cmaj.081325
- Gubler, D. J., Reiter, P., Ebi, K. L., Yap, W., Nasci, R. & Patz, J. A. (2001).** Climate variability and change in the United States: Potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environmental Health Perspectives*, 109(suppl 2), 223-233.
- Gunther, J., Safir, S., Bristow, B. & Sorvillo, F. (2011).** Amebiasis-Related Mortality among United States Residents, 1990–2007. *Am J Trop Med Hyg*, 85(6), 1038-1040.
- Hoshen, M. & Morse, A. (2004).** A weather-driven model of malaria transmission. *Malar. J.* (3), 32-46.
- Hunter, P. R. (2003).** Climate change and waterborne and vector-borne diseases. *J Appl. Microbiol*, 94, 37-46.
- Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (2010).** Comunicado. Retrieved from <http://www.imss.gob.mx/NR/rdonlyres/B3FEEA55-F912-4A18-8546-8411F8A258A5/0/300310Como55.pdf>
- Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (2009).** Comunicado. Retrieved from <http://www.imss.gob.mx/NR/rdonlyres/82A0744D-4F90-4B24-B7C5-FCF5693C900C/0/310309Com110.pdf>
- ITES, Campus Ciudad Juárez INFOMEXUS/SADES-FEMAP Instituto Nacional de Ecología, ECOTEC/SADEC-FEMAP. Universidad Americana del Norte. (1998).** Reporte del estado ambiental y de los recursos naturales de la frontera Norte de México.
- Kendrovski, V. & Gjorgjević, D. (2012).** Climate Change: Implication for Food-Borne Diseases (Salmonella and Food Poisoning Among Humans in R. Macedonia), Structure and Function of Food Engineering, Prof. Ayman Amer Eissa (Ed.). Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/structure-and-function-of-food-engineering/climate-change-implication-for-food-borne-diseases-salmonella-and-food-poisoning-among-humans-in-r-m>

- Kistemann, T., Rechenburg, A., H. se, C., Schreiber, C., Frechen, T. & Herbst, S. (2012). Assessing the potential impacts of climate change on food and waterborne diseases in Europe. Technical Report. *European Center Disease Prevention and Control*, 14-24.
- Kolivras, K. N. & Comrie, A. C. (2003). Modeling valley fever (coccidioidomycosis) incidence on the basis of climate conditions. *Int. J. Biometereol*, (47), 87-101.
- Kuhn, K., Campbell-Lendrum, D., Haines, A. & Cox, J. (2005). Using climate to predict infectious disease epidemic. Geneva: World Health Organization.
- Lal, A., Baker, M. G., Hales, S. & French, N. P. (2013). Potential effects of global environmental change on cryptosporidiosis and giardiasis transmission. *Trend Parasitol*, (29), 83-90.
- Lednar, W. M., Lemon, S. M., Kirkpatrick, J. W., Redfield, R. R., Fields, M. L., Kelley, P. W. (1985). Frequency of illness associated with epidemic hepatitis A virus infection in adults. *Am. J. Epidemiol*, (122), 226-233.
- Lipp, E., Hug, A. & Colwell, R. (2002). Effects of global climate on infectious disease: The Cholera model. *Clin. Microbiol. Rev.*, 15(4), 757.
- Lowen, A. C., Mubareka, S., Steel, J. & Palese, P. (2007). Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog*, 3(10), 1470-1476.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Stahl, D. A., Clark, D. P. (2011). *Brock, Biology of Microorganisms*. New York: Pearson Higher Education.
- Mbithi, J., Springthorpe, S. & Sattar, S. (1991). Effect of relative humidity and air temperature on survival of hepatitis A virus on environmental surfaces. *Appl. Environ. Microbiol*, 57(5), 1394-1399.
- Meléndez-Herrada, E., Ramírez-Pérez, M., Sánchez-Dorantes, B. & Cravioto, A. (2008). Cambio climático y sus consecuencias en las enfermedades infecciosas. *Rev. Fac. Med.*, 51(5), 205-208.
- Mellor, P. S. & Leake, C. J. (2000). Climatic and geographic influences on arboviral infections and vectors. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 19, 41-54.
- Milazzo, A., Giles, L. C., Zhang, Y. & Koehler, A. P. (2016). The effect of temperature on different *Salmonella* serotypes during warm seasons in a Mediterranean climate city, Adelaide, Australia. *Epidemiology & Infection*, 144(6), 1231-1240.

- Morin, C. W., Comrie, A. C. & Ernst, K. (2013). Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications. *Environ Health Perspect*, 121(11-12), 1264-1272.
- Newton, A., Heiman, K., Schmitz, A., Trok, T., Apostolou, A., Hanson, H., Gounder, P., Bohm, S., Kurkjian, K., Parsons, M., Talkington, D., Strpoka, S., Madoff, L., Elson, F., Sweat, D., Cantu, V., Akwari, O., Mahon, B. & Mintz, E. (2011). Cholerae in United States associate with epidemic in Hispaniola. *Emerging infectious diseases*, 17(11), 2166-2168.
- Nichols, G., Lane, Ch., Asgari, N., Verlander, N. & Charlett, A. (2009). Rainfall and outbreaks of drinking water related disease and in England and Wales. *Journal of Water and Health*, 7(1), 1-8.
- Ostfeld, R. S. (2009). Climate change and the distribution and intensity of infectious diseases. *Ecology*, 90(4), 903-905.
- PAHO-WHO. (2012). Health in the Americas. us-Mexico Border. Retrieved from [http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=63&Itemid=63&lang=en](http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=63&lang=en)
- Pardio, V. T. (2007). Influence of environmental factors on the presence of *Vibrio cholera* in the marine environment: a climate link. *J Infect Developing Countries*, 1(3), 224-241.
- Pascual, M., Bouma, M. J. & Dobson, A. P. (2002). Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. *Microbes Infect*, 4(2), 237-245.
- Rose, J., Epstein, O., Lipp, E., Sherman, B., Bernard, S. & Patz, J. (2001). Climate variability and change in the United States: Potential impacts on water- and foodborne diseases caused by a microbiologic agent. *Environmental Health Perspectives*, 109(Suppl 2), 211-220.
- Sagripanti, J. L. & Lytle, C. D. (2007). Inactivation of influenza virus by solar radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 83(5), 1278-1282.
- Schvoerer, E., Massue, J. P., Gut, J. P. & Stoll-Keller, F. (2008). Climate change: impact on viral diseases. *The Open Epidemiology Journal*, (1), 53-56.
- Shimokawa, C., Kabir, M., Taniuchi, M., Mondal, D., Kobayashi, S., Karim, I., Ali, M., Sobuz, A., Senba, M., Houpt, E., Haque, R., Petri, W. A. Jr. & Hamano, S. (2012). *Entamoeba moshkovskii* is associated with diarrhea in infants and causes diarrhea and colitis in mice. *Journal of Infectious Diseases*, (206), 744-751. doi: 10.1093/infdis/jis414

- Simental, L. & Martínez-Urtaza, J. (2008).** Climate Patterns Governing the Presence and Permanence of Salmonellae in Coastal Area of Bahía de Todos Santos, México. *Appl. Environ. Microbiol.*, 74(19), 5918-5924.
- Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (2006).** Red sanitaria. Retrieved from [http://200.67.143.32:8444/revistared/portada2006genero/num4\\_art\\_4sec3.htm](http://200.67.143.32:8444/revistared/portada2006genero/num4_art_4sec3.htm)
- SINAIS. (2008).** Retrieved from <http://sinais.salud.gob.mx/mortalidad/>
- Soto-Estrada, G., Moreno-Altamirano, L. & Pahlua-D.az, D. (2016).** Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 59(6), 8-22.
- U.S. Department of Health and Human Services (2000).** Health on the U.S.-Mexico border: Past, Present and Future: a Preparatory Report to the Future United States-Mexico Border Health Commission. Washington: The Department.
- U.S-Mexico Border Health Commission. (2013).** Prevention and Health Promotion among Vulnerable Populations on the U.S.-Mexico Border. Retrieved from [http://www.borderhealth.org/files/res\\_2654.pdf](http://www.borderhealth.org/files/res_2654.pdf)
- Vezzulli, L., Pruzzo, C., Huq, A. & Colwell, R. (2010).** Environmental Reservoirs of *Vibrio Cholera* and their Role in Cholera. *Environ. Microbiol. Reports*, 2(1), 27-33
- Wade, T. J., Calderon, R. L., Sams, E., Beach, M., Brenner, K., Williams, K. & Dufour, A. (2006).** Rapidly Measured Indicators of recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness. *Environmental Health Perspectives*, 114(1), 24-28.
- Watts, D. M., Harrison, B. A., Whitmire, R. E. & Nisalak, A. (1987).** Effect of Temperature on the Vector Efficiency of *Aedes aegypti* for Dengue 2 Virus. *Am J Trop Med Hyg.* (36), 143-152.
- WHO. (1999).** El Niño ad Health. W.H.O./SDE/99.4. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO. (2003).** Climate Change and Human Health: Risks and Responses. Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/publications/cchhsummary/en/>
- WHO. (2005).** Using climate to predict infectious disease epidemics. Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/publications/infectdiseases/en/>
- WHO. (2008).** Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs107/en/>

- WHO. (2014).** Hepatitis A. Fact sheet, (328). Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs328/en/>
- Wilder, M., Garfin, G., Ganster, P., Eakin, H., Romero-Lankao, P., Lara-Valencia, F., Cortez-Lara, A. A., Mumme, S., Neri, C. & Muñoz-Arriola, F. (2013).** Climate Change and us-Mexico Border Communities. In Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment, edited by Garfin, G., Jardine, A., Merideth, R., Black, M. & LeRoy S. (pp. 340-384). A Report by the Southwest Climate Alliance. Washington, DC: Island Press.
- Zender, C. S. & Talamantes, J. (2006).** Climate Control in Valley Fever in Kern County California. *Int J Biometeorol*, 50, 174-182.

# Ondas de calor y cambio climático: efectos en México<sup>1</sup>

Poliptro F. Martínez Austria

---

► 1. Artículo publicado en septiembre de 2018 en el número 6 de la revista *Entorno UDLAP*.



Ante las recientes ondas de calor registradas en el hemisferio norte, se está produciendo una mayor preocupación de los efectos que éstas tienen en la salud humana. Sin embargo, ante la falta de información que la sociedad dispone al respecto frente a este fenómeno, resulta necesario difundir el conocimiento científico disponible. La comprensión, por parte de la comunidad, de los efectos del cambio climático es una de las mejores maneras de incrementar la resiliencia. En este texto se analiza el concepto de onda de calor, los métodos para establecer su peligrosidad, así como las tendencias observadas y esperadas de este fenómeno en México, en condiciones de cambio climático.

## ANTECEDENTES

Las ondas de calor son eventos mucho más peligrosos para la salud de lo que comúnmente se supone. No se trata sólo de una incomodidad, o de que afecten a algunas personas que sufren el llamado «golpe de calor», se ha demostrado que, durante las ondas de calor, la mortalidad se incrementa de manera sustancial. Por ejemplo, una onda de calor en Chicago, en 1995, causó 514 muertes; en Europa, la onda de calor de 2003 produjo casi 15,000 muertes y, en la Federación Rusa, otra onda produjo 55,376 muertes relacionadas con este fenómeno en 2010. Desafortunadamente, ésta es una condición climática cada vez más frecuente. En la tabla 1 se muestran los diez desastres naturales que mayor número de muertes ocasionaron en el año 2015. Como puede observarse, cuatro de los cinco más importantes fueron ondas de calor.

En 2018, desde finales de junio, en diversas regiones del hemisferio norte se han registrado ondas de calor intensas y de diversa duración, en algunos sitios combinadas con sequías. En Japón, durante las ondas de calor del mes de julio, murieron 90 personas y 35,000 requirieron asistencia médica. Efectos similares se reprodujeron en prácticamente todo el hemisferio norte, en países tan diversos como Canadá, Estados Unidos, México, Gran Bretaña, Alemania y aún algunos en latitudes tan al norte como la de Suecia.

## ONDAS DE CALOR: DEFINICIÓN Y UMBRALES

Una onda de calor se define de manera general como un periodo, usualmente de varios días, en el que ocurren temperaturas significativamente mayores al promedio. Esta definición, de sencilla comprensión es, sin embargo, poco precisa cuando se requiere adoptar medidas de prevención o mitigación de sus

Tipo de desastre natural	País	Número de muertes
Terremoto (abril)	Nepal	8,831
Onda de calor	Francia	3,275
Onda de calor (mayo)	India	2,248
Onda de calor (junio)	Pakistán	1,229
Onda de calor (junio)	Bélgica	410
Deslizamiento de tierra (octubre)	Guatemala	350
Inundación (noviembre)	India	325
Inundación (julio)	India	293
Terremoto (octubre)	Pakistán	280
Inundación (enero)	Malawi	278
	<b>Total</b>	<b>17,519</b>

**Tabla 1.** Mayores desastres naturales, por número de muertes en 2015 (traducido de Guha-Sapir, Hoyois y Below, 2016).

efectos sobre la salud humana o el medio ambiente. Para hacerla operacional es necesario establecer cuándo una determinada temperatura es considerada «significativamente alta». La relevancia de las ondas de calor se hace notoria sólo cuando se asocia con sus efectos en la salud humana, y es a partir de sus consecuencias que se puede definir el umbral del cual se debe declarar una condición de riesgo por altas temperaturas. Por esta razón, existen diversas maneras para determinar umbrales o índices de calor que representen peligro para la salud humana.

Un primer grupo de índices de calor se refiere, no sólo a la temperatura ambiente, sino a la sensación de calor que experimentan las personas. Este grupo de índices de calor considera, además de la temperatura ambiente, la humedad relativa y el tipo de actividad de las personas que experimentan la sensación térmica, entre otros factores. Se trata de establecer la temperatura térmica percibida. Entre este grupo de indicadores, uno de los más empleados es el propuesto por la National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos (NOAA), que define límites para la temperatura aparente, por sus efectos en la salud. El índice de calor (Hi) de la NOAA<sup>1</sup> se calcula con la fórmula 1.

► 2. Para más información, consultar el siguiente enlace: [http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat\\_index.shtml](http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_index.shtml)

La principal dificultad, al igual que todos los índices, es determinar los umbrales de peligrosidad, que cambian de una región y localidad a otra. De acuerdo con la NOAA, se considera una condición de peligro cuando el índice de calor se encuentra entre 103 y 124 °F, y de extremo peligro cuando se alcanzan valores iguales o superiores a 125 °F, en cuyo caso el golpe de calor es muy probable. Contar con los datos de humedad relativa es también una dificultad importante en algunos países, entre los que se encuentra México.

La mortalidad durante ondas de calor —contrario a la creencia común— no está ligada sólo a la llamada «muerte por golpe de calor». Durante eventos de temperatura extrema se incrementa el riesgo de muerte para personas con enfermedades crónicas u otras preexistentes, como, por ejemplo, asma y otras enfermedades respiratorias, renales o diabetes. De esta manera, se ha demostrado que la mortalidad total aumenta dramáticamente durante ondas de calor extremo: con base en estudios de morbilidad y mortalidad relacionados con las temperaturas extremas es que se determinan los umbrales de alerta.

La manera más extendida, por lo tanto, de establecer índices de calor consiste en determinar umbrales de temperatura, a partir de los cuales la temperatura ambiente se torna peligrosa para la salud. Éstos se establecen definiendo valores límite, ya sean específicos, o bien, percentiles del registro histórico. En un amplio estudio reciente Kent *et al.* (2014) realizaron un análisis de diferentes índices de calor, comparados con los efectos registrados en la salud. Encontraron que los índices simples, basados sólo en la temperatura, pueden ser los más apropiados para su empleo en un sistema de alerta, siempre que se considere que los umbrales a emplear deberían ser regionales o locales.

Así, por ejemplo, la Oficina de Meteorología del Reino Unido establece un sistema regional, con un umbral cercano a 32 °C durante el día y 15 °C durante la noche por más de dos días consecutivos (Met Office, 2015), dependiendo de la región de que se trate. En la tabla 2 se muestran los límites regionales establecidos por esta organización. Como se ha comentado, para obtener estos umbrales, resulta necesario determinar las temperaturas a las que la población local padece efectos importantes en la salud. Sin embargo, en México no se cuenta con estudios regionales de los efectos en la salud de las altas temperaturas.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) del Sistema Nacional de Protección Civil de México sugiere que, para establecer los mapas de riesgo por ondas de calor, se utilice como umbral la temperatura correspondiente al percentil 90 (Matías-Ramírez, 2014). Es decir, que la temperatura ob-

Región de Reino Unido	Temperatura máxima diurna	Temperatura máxima nocturna
London	32	18
South East	31	16
South West	30	15
Eastern	30	15
West Midlands	30	15
East Midlands	30	15
North West	30	15
Yorkshire and Humber	30	15
Yorkshire and Humber	29	15
North East	28	15

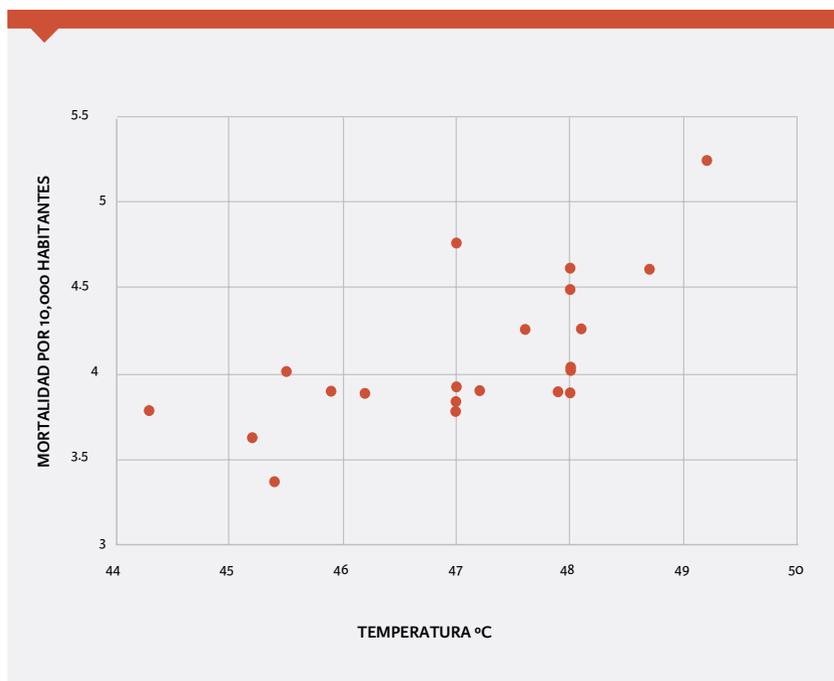
**Tabla 2.** Umbrales de temperaturas máximas diurnas y nocturnas definidas por el servicio de alerta de clima extremo de la Oficina de Meteorología del Reino Unido (mswvs, por sus siglas en inglés) (Met Office, 2015).

**Fórmula 1.** Donde R es la humedad relativa, T la temperatura ambiente y Hi el índice de calor; estos dos últimos en grados Fahrenheit.

$$\begin{aligned}
 H_i = & -42.379 + (2.04901523 T) + (10.14333127 R) \\
 & - (0.2247551 TR) - (6.83783 \times 10^{-3} T^2) - (5.481717 \times 10^{-2} R^2) \\
 & - 1.22874 \times 10^{-3} T^2 R + (8.5282 \times 10^{-4} TR^2) - (1.99 \times 10^{-6} T^2 R^2)
 \end{aligned}$$

servada, para considerarla propia de una onda de calor, debe ser igual o mayor que el 90% de las observadas en el registro histórico.

En la Universidad de las Américas Puebla se han desarrollado estudios de la relación entre calor extremo y mortalidad para algunas regiones del país. Por ejemplo, para la ciudad de Mexicali, que es probablemente la más expuesta a este fenómeno, se ha determinado que para temperaturas superiores a 46-47 °C se incrementa de manera notable la mortalidad, como puede observarse en la figura 1. En este caso, el umbral de riesgo debería ser menor a 46 °C.

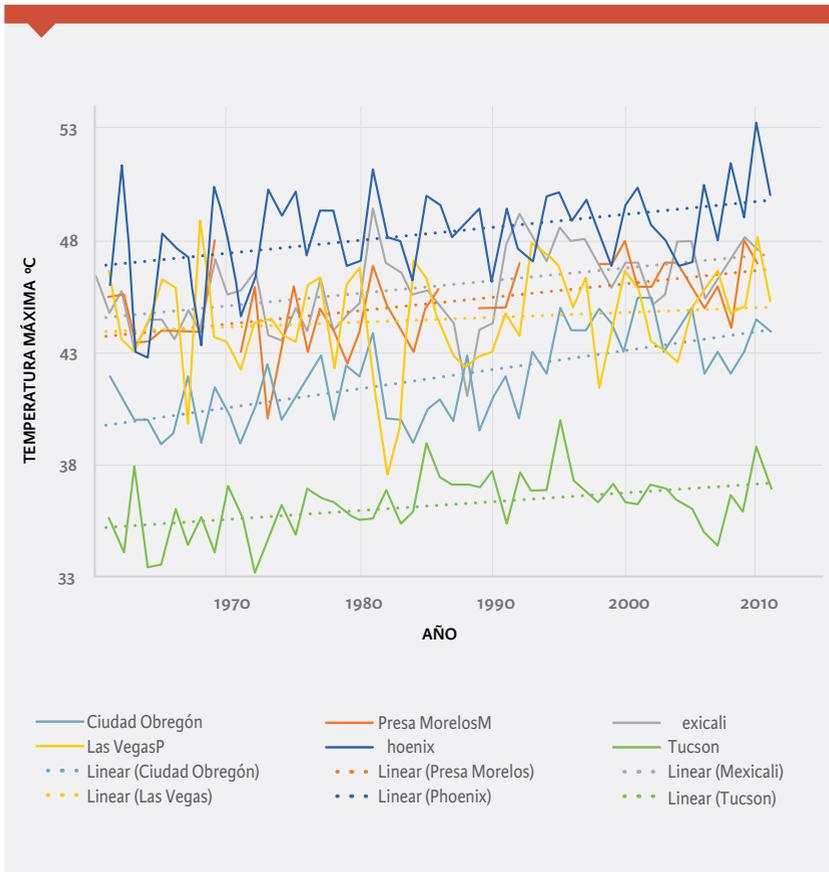


**Figura 1.** Mortalidad vs. temperaturas máximas en Mexicali, BC, en el mes de agosto. Periodo de análisis 1990-2014.

## EFFECTOS ESPERADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

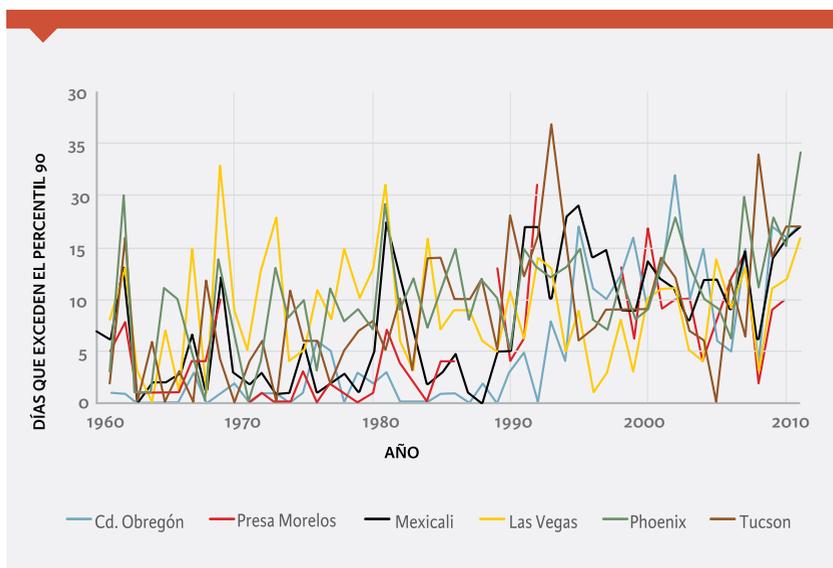
El incremento de las temperaturas medias que se espera, como resultado del calentamiento que experimenta el planeta, se verá magnificado en el caso de las temperaturas extremas. Es decir, que un incremento de, por ejemplo, un grado centígrado en la temperatura media, producirá ondas de calor con anomalías de temperatura aún mayores. El quinto reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) indica que durante el siglo XXI «es muy probable que ocurran ondas de calor con mayor frecuencia y de mayor duración».

El reporte especial sobre eventos extremos del IPCC es contundente, y declara que «es prácticamente seguro que durante el siglo XXI ocurrirán incrementos en la frecuencia y magnitud de temperaturas cálidas extremas y disminuciones



**Figura 2.** Temperaturas máximas observadas en ciudades de la región del desierto de Sonora-Mojave (Martínez-Austria y Bandala, 2017).

en los extremos fríos» (IPCC, 2012). De hecho, estas tendencias ya se observan en diferentes regiones del mundo. En la figura 2 se muestran las tendencias observadas en algunas ciudades importantes de la región climática del desierto de Sonora-Mojave, en el mes de agosto. En todas estas ciudades se observa un claro incremento de las temperaturas máximas. En algunos casos, como el de Ciudad Obregón en México y Phoenix en Estados Unidos, el incremento es de más de tres grados en tan sólo cuarenta años. Se puede demostrar con méto-

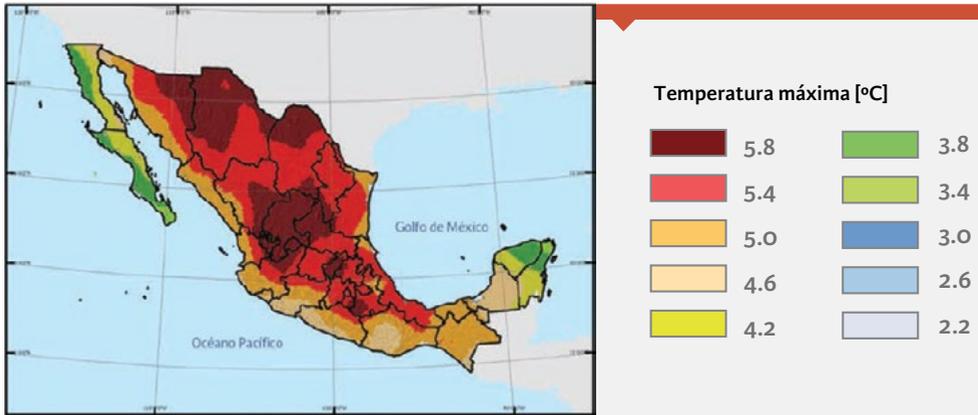


**Figura 3.** Número de días que la temperatura máxima excede el percentil 90 en el mes de agosto, en ciudades de la región del desierto Sonora-Mojave (Martínez-Austria y Bandala, 2017).

dos no paramétricos de tendencia, que este crecimiento es estadísticamente significativo (Martínez-Austria y Bandala, 2017).

Adicionalmente, tal como prevén los pronósticos de cambio climático del IPCC, la duración de las ondas de calor va en aumento. En la figura 3 se muestra, para las mismas ciudades, el número de días que exceden el percentil 90 de la temperatura máxima, y puede notarse que hacia el 2011, en la mayoría de las ciudades, más de la mitad del mes se registran temperaturas extremas, en contraste con el inicio del registro cuando esta duración era usualmente de diez días o menos.

Salinas-Prieto, Colorado-Ruiz y Maya-Magaña (2015) realizaron un análisis de los cambios esperados en la temperatura máxima en México para diversos periodos, como resultado del cambio climático. En la figura 4 se muestra la anomalía esperada de la temperatura máxima para primavera-verano hacia finales de siglo (2075-2099), en el peor de los escenarios (RCP 8.5). La anomalía esperada sería de hasta seis grados centígrados en algunas regiones de México. Es conveniente anotar que las temperaturas durante una onda de calor pueden ser mayores que éstas, que representan un periodo de tiempo específico en el año.



**Figura 4.** Anomalía de temperatura máxima esperada en México en primavera-verano en el periodo 2075-2099, en el escenario RCP 8.5, respecto del promedio de los años 1971-2000 (Salinas-Prieto, Colorado-Ruiz y Maya-Magaña, 2015).

## CONCLUSIONES

Las ondas de calor registradas recientemente en el hemisferio norte del planeta son consistentes con lo esperado como resultado del cambio climático. En México se observa ya una clara tendencia de ondas de calor más intensas y de mayor duración, lo que se ha ejemplificado con algunas ciudades del noroeste del país. Se ha mostrado que las ondas de calor tienen un efecto evidente en la mortalidad humana. Los escenarios de cambio climático establecen que, casi con certeza, el número, duración e intensidad de las ondas de calor continuará aumentando, por lo que es urgente el diseño de planes de prevención y contingencia ante estos fenómenos, para proteger la salud humana.

## REFERENCIAS

- Field, C., Barros, V., Stocker, T. F. y Dahe, Q. (edits.).(2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P. y Below, R. (2016). *Annual disaster statistical review 2015. The numbers and Trends*. Bruselas: CRED.
- Kent, S. T., McClour, L. A., Zaitchik, B. F., Smith, T. T. y Gohlke, J. M. (2014). Heath waves and health outcomes in Alabama (USA); The importance of heat wave definition. *Environ. Health Perspect.*, 122(2), 151-158.
- Martinez-Austria, P. y Bandala, E. (2017). Temperature and heat-related mortality trends in the Sonoran and Mojave Desert region. *Atmosphere*, 8(3).
- Matías-Ramírez, L. G. (2014). *Actualización del índice de riesgo por ondas de calor en México*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- Met Office. (2015). Heat wave plan for England. Recuperado de <http://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/heatwave>
- Salinas-Prieto, J. A., Colorado-Ruiz, G. y Maya-Magaña, M. E. (2015). Climate Change Scenarios for Mexico (In Spanish). En imta, *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático* (pp. 41-70). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.







Otros temas relacionados con la Cátedra

---

# Los niños y el agua<sup>1</sup>

María de los Ángeles Areli Piña-Ramírez

---

► 1. Artículo publicado en abril de 2021 en el número 19 del boletín *Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos*.



La primavera es una de las estaciones preferidas de los pequeñines, por contar con condiciones climáticas idóneas para el brote de flores que llenan el paisaje de colores. Asimismo, en esta época, se celebra el Día del Niño en México (30 de abril) y el Día Mundial de la Tierra (21 abril), por lo cual a la autora de este artículo le pareció oportuno hablar de algunos puntos sobre la relación de las niñas y los niños con el agua. En primer lugar, es reconocido que la niñez, como etapa de vida, es decisiva en muchos sentidos para las siguientes fases del crecimiento humano. Por ello, es crucial el ofrecer educación a los chiquitines del cuidado, importancia y todo lo que representa el recurso agua, para la humanidad y todos los seres vivos del planeta.

Al despertar sintiendo los primeros rayos del sol por la mañana, la primera sustancia necesaria para comenzar energéticamente el día es un vivificante vaso con agua. El porcentaje de agua en el cuerpo de los niños es de aproximadamente 65% (Helmenstine, 2021), y para poder mantener una adecuada regulación de todas las funciones que la pequeña máquina humana necesita realizar diariamente, es primordial una adecuada hidratación. Con relación a esto, Sadhguru (yogui indio) afirma que: «El agua no es una mercancía, sino un material que crea vida. Dos tercios de tu cuerpo son agua; estar consciente de este hecho es vital para la supervivencia». Sin embargo, tristemente en el país hay estadísticas de que siete de cada diez niños en comunidades rurales desayunan con refresco (Delgado, 2019).

En nuestro cuerpo existe un equilibrio hídrico, definido por el agua que entra, menos el agua que sale. La ingesta diaria de líquidos y comida representa la ganancia, y la pérdida es a través de la orina y la transpiración, además de los procesos de regulación de los intestinos y pulmones (Rowntree, 1922). Proveer una adecuada hidratación a los niños ayudará a sostener la energía necesaria para que su cerebro realice las funciones esenciales y reduzca la fatiga, manteniendo su enfoque durante las labores escolares, lo que cobra relevancia en la nueva llamada educación a distancia. También mantendrá la termorregulación de sus cuerpos en los días de intenso calor y al ejercitarse durante las actividades deportivas (Hydration for Health, s. f.).

Un buen acercamiento para la comprensión de que el agua es un recurso limitado para la humanidad es explicarles a los niños que el agua de consumo humano representa sólo una pequeña cantidad del agua disponible en el planeta. Si bien la Tierra es alrededor del 71% agua, más del 96.5% se encuentra en los océanos y es agua salada (USGS, s. f.). Sin embargo, el agua restante, aunque es dulce, en su mayoría se encuentra en los glaciares y los acuíferos, lo que la

hace menos alcanzable. Conjuntamente, el ciclo del agua y sus componentes es un tema importante que puede ser explicado de forma sencilla mediante los procesos de evaporación, transpiración, infiltración y precipitación. El tópico puede aportar una gran oportunidad para que los niños desarrollen pensamiento crítico sobre la interconexión de todos sus elementos y la complejidad de sus relaciones.

Otro punto que ha faltado comunicarles a los niños es que el artículo cuarto constitucional habla sobre el derecho humano al agua (suficiente, salubre, aceptable y asequible) garantizado por el Estado mexicano, y que fue incorporado en un decreto constitucional en el año 2012 (Wilder *et al.*, 2020). En el mundo, uno de cada cinco niños no cuenta con acceso suficiente al recurso para satisfacer sus necesidades básicas, y muchos de ellos no asisten a clases para poder recolectar el preciado elemento (UNICEF, 2021). El crecer con el conocimiento del derecho humano al agua, al que somos acreedores por la ley, promoverá en los niños el abogar justamente por lo que les debe ser otorgado, pero también les dará herramientas de responsabilidad de salvaguardar y apoyar el uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos.

Finalmente, para infiltrar en esas maravillosas mentes la relevancia del agua con la vida, probablemente la mejor forma de hacerlo es con el ejemplo, realizando acciones de cuidado del agua y teniendo conversaciones casuales con las niñas y los niños, donde ellos puedan darse la oportunidad de cuestionarse sobre asuntos referentes al agua, que los lleve a reflexionar y a tener curiosidad sobre su importancia.

El involucramiento de los niños en el cuidado y la situación actual de la escasez del recurso hídrico en algunas partes del país se vuelve cada vez más determinante en el futuro que ellos tendrán. Al tener una mente abierta y perspicaz de la etapa en que se encuentran, formarán una concepción fundamental de protección sobre el perfecto compuesto molecular inherente a la vida, el agua.

## REFERENCIAS

- Delgado, S. (20 de octubre de 2019).** México, primer consumidor de refrescos en el mundo. *Gaceta UNAM*. Recuperado de <https://www.gaceta.unam.mx/mexico-primer-consumidor/>
- Helmenstine, A. M. (16 de febrero de 2021).** How Much of Your Body Is Water? Recuperado de <https://www.thoughtco.com/how-much-of-your-body-is-water-609406>
- Hydration for Health (s. f.).** Water intake and hydration physiology during childhood. Recuperado de <https://www.hydrationsforhealth.com/en/hydration-science/hydration-lab/water-intake-and-hydration-physiology-during-childhood/>
- Rowntree, L. G. (1922).** The water balance of the body. *Physiological Reviews*, 2(1), 116-169.
- UNICEF (18 de marzo de 2021).** Water Security for All. Recuperado de <https://www.unicef.org/reports/reimagining-wash-water-security-for-all>
- USGS. (s. f.).** How Much Water is There on Earth? Recuperado de [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-much-water-there-earth?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-much-water-there-earth?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)
- Wilder, M., Martínez-Austria, P. F., Hernández-Romero, P. y Cruz-Ayala, M. B. (2020).** The human right to water in Mexico: Challenges and opportunities. *Water Alternatives*, 13(1), 28-48



Otros temas relacionados con la Cátedra

---

# COVID-19: impacto ambiental<sup>1</sup>

Regina Mijares Fajardo

---

► 1. Artículo publicado en marzo de 2020 en el Blog de la Cátedra UNESCO-UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos.



La creciente pandemia que experimentan muchos países resulta una amenaza potencial para la salud pública en general, por eso, la mayor parte de la población ha cambiado sus hábitos cotidianos y comportamientos para prevenir contagios del virus. Este fenómeno, a su vez, ha ocasionado impactos colaterales para el medio ambiente en muchas partes del mundo. Esta nota resume brevemente algunos de los efectos que se han visto en diferentes ciudades y países.

Probablemente una de las noticias más conocidas sea la reducción de contaminantes atmosféricos que ha experimentado China debido a la disminución de las operaciones en refinerías de petróleo, centrales eléctricas, transporte terrestre y aéreo, entre otras. En total, se estima que las emisiones de  $\text{CO}_2$  se redujeron en un 25% o más en las primeras semanas de 2020 (Myllyvirta, 2020). Esto resulta significativo ya que desde 2006, China ocupa el primer lugar entre los países que más emiten este gas de efecto invernadero (BBC, 2019). Sin embargo, esa baja en las emisiones sólo representa aproximadamente un -1% de los totales anuales (Patel, 2020), el resultado final dependerá de las acciones que se tomen al terminar la pandemia. Adicionalmente, el Servicio de Monitoreo Atmosférico Copernicus detectó una disminución del 20% al 30% en las partículas suspendidas del aire  $\text{PM}_{2.5}$  en muchas zonas del país (CAMS, 2020). De la misma manera, las emisiones de  $\text{NO}_2$ , otro de los contaminantes atmosféricos más tóxicos, se vieron reducidas entre un 10% y 30% desde las celebraciones del Año Nuevo Lunar (Stieg, 2020) como se muestra en la imagen 1.

Por otro lado, la Agencia Espacial Europea, gracias al satélite Copernicus Sentinel-5P, ha podido detectar una disminución considerable en la contaminación atmosférica en Italia desde el cierre nacional por COVID-19, específicamente es notoria la reducción de los niveles de  $\text{NO}_2$  en la región norte del país (ESA, 2020). Asimismo, otro de los efectos más mencionados es la evidente reducción de sólidos suspendidos en el agua de Venecia. Se han publicado varias imágenes de la claridad que presentaron los canales a principios de marzo debido al cierre de tráfico de embarcaciones en las famosas vías fluviales de la ciudad.

Paralelamente, en otras ciudades de España, la concentración de  $\text{NO}_2$  en el aire se ha visto significativamente reducida desde que comenzaron las primeras medidas de contención el 10 de marzo de 2020 (Fernández, 2020).

Al otro lado del mundo, en algunas ciudades de Estados Unidos también se han reportado decrementos en los niveles de contaminantes atmosféricos como  $\text{CO}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  (partículas finas suspendidas en el aire). La organización Earth

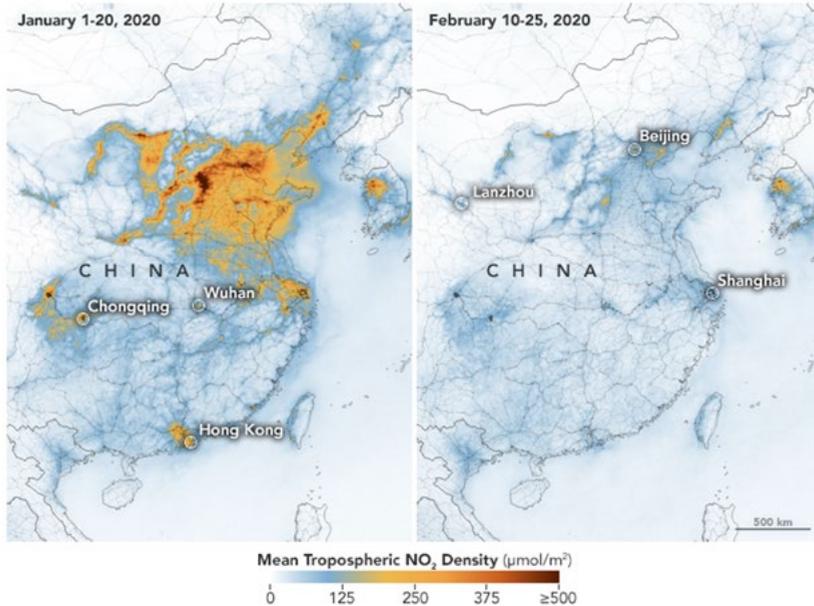
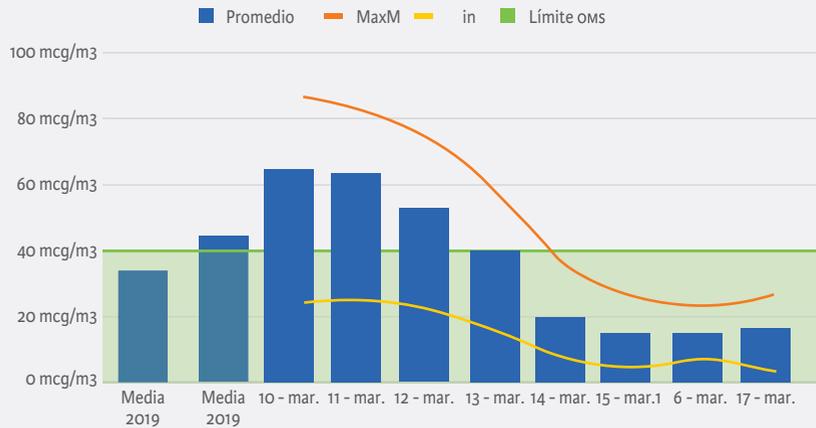


Imagen 1 por Joshua Stevens (NASA Earth Observatory, 2020)

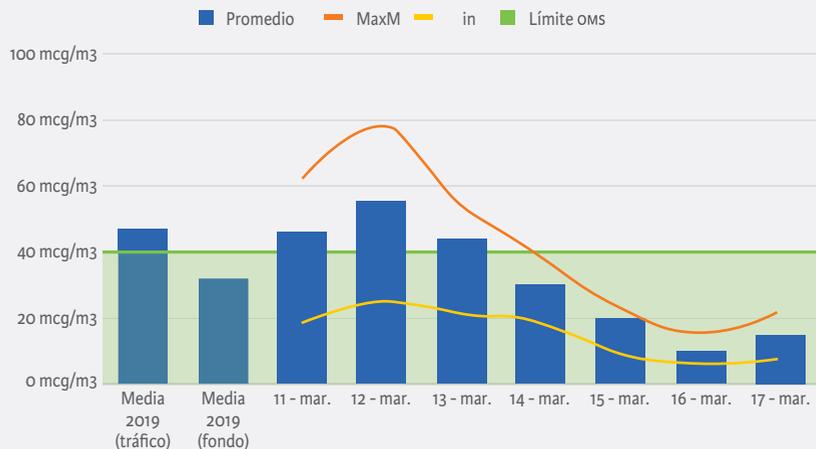
Economics generó un rastreador de calidad de aire que compara las emisiones de  $PM_{2.5}$  en el mismo periodo durante 2020 y 2019; esta herramienta reportó a principios de marzo de 2020 un decremento del 40%, 28% y 32% en las áreas metropolitanas de San Francisco, Nueva York y Seattle, respectivamente (Chow, 2020). Adicionalmente, investigadores en la Universidad de Columbia declararon que, en NY los niveles de  $CO$  emitido principalmente por automóviles se han reducido casi 50% en comparación con el año pasado (McGrath, 2020). No obstante, expertos en política climática de la Universidad de California aseguran que, si al quedarse en casa los habitantes de EE. UU. utilizan más energía eléctrica, compensarán fácilmente los ahorros de no conducir su vehículo al trabajo (Ng, 2020).

En conclusión, sin dejar de lado la amenaza que esta pandemia representa para la seguridad y salud pública, se han reportado impactos ambientales favorables como resultado de la contingencia sanitaria, las cifras mencionadas en esta nota simbolizan los efectos drásticos que puede tener el cambio de hábitos en la población. Sin embargo, es evidente que esta no es, en ningún

## VALOR MEDIO DIARIO DE NO<sub>2</sub> EN MADRID



## VALOR MEDIO DIARIO DE NO<sub>2</sub> EN BARCELONA



Gráficas 1 y 2. Elaboradas con datos del Ayuntamiento de Madrid (Greenpeace, 2020).

caso, la manera correcta de reducir las emisiones. En general, lo que marcará la diferencia será la manera en que los países estimulen sus economías cuando la epidemia haya terminado, ya que algunos argumentan que, si la pandemia se prolonga, cualquier estímulo probablemente se centre en promover el crecimiento económico, independientemente del impacto en el ambiente (McGrath, 2020). No obstante, así como la COVID-19, el calentamiento global representa una amenaza para toda la humanidad y este virus ejemplifica la importancia de tomar las medidas de prevención correspondientes.

## REFERENCIAS

- British Broadcasting Corporation (BBC). (2019).** Los gráficos animados que muestran los 15 países que más CO<sub>2</sub> emitieron en los últimos 20 años (y cuánto emitió América Latina). Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50811389>
- Chow, D. (2020).** Coronavirus lockdown provides vivid picture of how environment recovers without people. Recuperado de <https://www.nbcnews.com/science/environment/coronavirus-shutdowns-have-unintended-climate-benefits-n1161921>
- Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). (2020).** Amid Coronavirus outbreak: Copernicus monitors reduction of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) over China | Copernicus. Recuperado de <https://atmosphere.copernicus.eu/amid-coronavirus-outbreak-copernicus-monitors-reduction-particulate-matter-pm25-over-china>
- European Space Agency (ESA). (2020).** Coronavirus: nitrogen dioxide emissions drop over Italy. Recuperado de [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus\\_nitrogen\\_dioxide\\_emissions\\_drop\\_over\\_Italy](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus_nitrogen_dioxide_emissions_drop_over_Italy)
- Fernández Carrasco, A. (2020).** Descienden los niveles de contaminación durante el estado de alarma del coronavirus. Recuperado de <https://es.greenpeace.org/es/noticias/asi-ha-bajado-la-contaminacion-durante-el-estado-de-alarma-por-el-coronavirus/>
- McGrath, M. (2020).** Polluting gases fall rapidly as coronavirus spreads. Recuperado de <https://www.bbc.com/news/science-environment-51944780>
- Myllyvirta, L. (2020).** Analysis: Coronavirus has temporarily reduced China's CO<sub>2</sub> emissions by a quarter. Recuperado de <https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter>
- Ng, K. (2020).** Air pollution and CO<sub>2</sub> fall rapidly as coronavirus spreads. Recuperado de <https://www.independent.co.uk/environment/coronavirus-air-pollution-co2-reduce-update-spread-a9411011.html>
- Patel, K. (2020).** Earth Matters - How the Coronavirus Is (and Is Not) Affecting the Environment. Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/earthmatters/2020/03/05/how-the-coronavirus-is-and-is-not-affecting-the-environment/>

**Stevens, J. (2020).** Airborne Nitrogen Dioxide Plummets Over China. Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>

**Stieg, C. (2020).** NASA images show 'significant decreases' in air pollution over China amid coronavirus economic slowdown—take a look. Recuperado de <https://www.cnbc.com/2020/03/02/nasa-images-chinas-air-pollution-decreased-amid-coronavirus-measures.html>

# Deforestación en México: llegar con vergüenza al futuro<sup>1</sup>

Pedro Andrés Sánchez Gutiérrez

---

► 1. Artículo publicado en octubre de 2020 en el número 17 del boletín *Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos*.



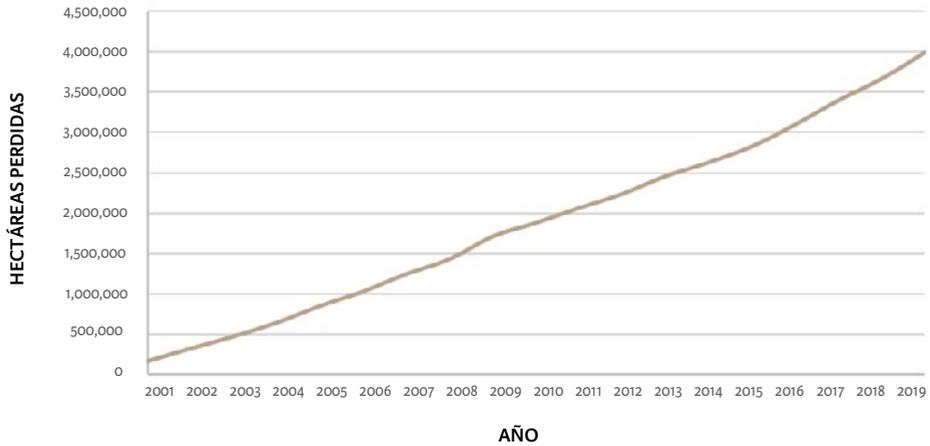
Los bosques son más que árboles, son una fuente de alimentos, agua y medios de subsistencia, e imprescindibles para el ecosistema global. Cuando se gestionan de manera sustentable, aumentan la resiliencia, proveen servicios económicos, una variedad de servicios ambientales y oportunidades de empleo. Asimismo, los bosques absorben y almacenan dióxido de carbono y proporcionan hábitats para un gran número de especies (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016).

Los bosques juegan un papel integral en el ciclo del agua. En un ecosistema sano, la lluvia es absorbida por el suelo y los árboles circundantes. Parte del agua absorbida regresa a la atmósfera a través de la transpiración —la liberación de agua de las hojas de las plantas durante la fotosíntesis—. El agua que se transpira contribuye a la formación de nubes de lluvia que la distribuyen de regreso al bosque. Cuando se eliminan los árboles del ecosistema, se vierte menos agua a la atmósfera y cae menos lluvia en el área circundante (Mongabay, 2020).

El cambio climático puede exacerbar muchas de las amenazas que enfrentan los bosques. Por ejemplo, las sequías los vuelven más susceptibles a incendios y aumentan la probabilidad de que dichos eventos sean intensos y de larga duración (Union of Concerned Artists, 2020). La deforestación es uno de los principales impulsores de la desertificación o la transformación de tierras fértiles en desierto. Si bien los humanos son el mayor impulsor de la deforestación —con frecuencia debido a la tala de árboles para aumentar el pastoreo o permitir que los animales de granja pasten en exceso—, el cambio climático exacerba este proceso. El calentamiento de la temperatura del aire y la disminución de la precipitación pueden provocar sequías más prolongadas e intensas, así como impedir el crecimiento de la vegetación (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019).

Las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC, por sus siglas en inglés) constituyen los esfuerzos de cada país miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para cumplir con el objetivo global de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, para no aumentar la temperatura de la superficie del planeta por encima de los 2 °C; mismo que fue adoptado en la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés) número 21 llevada a cabo en París, Francia en el mes de diciembre de 2015 (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015).

Como parte de sus INDC, México está obligado a alcanzar en el año 2030 la tasa cero de deforestación (Gobierno de la República, 2015). Sin embargo, durante los últimos 19 años, en el país se han perdido cuatro millones de hec-

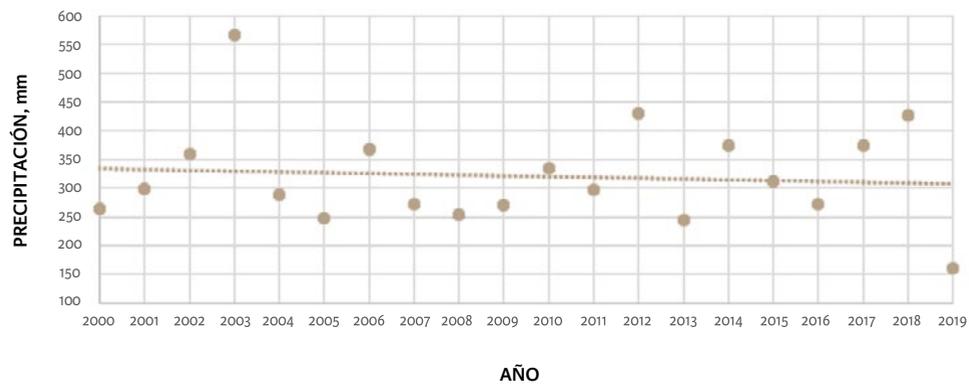


**Figura 1.** Pérdida de cobertura arbórea en México. Acumulativa, 2001-2019 (Global Forest Watch, 2019).

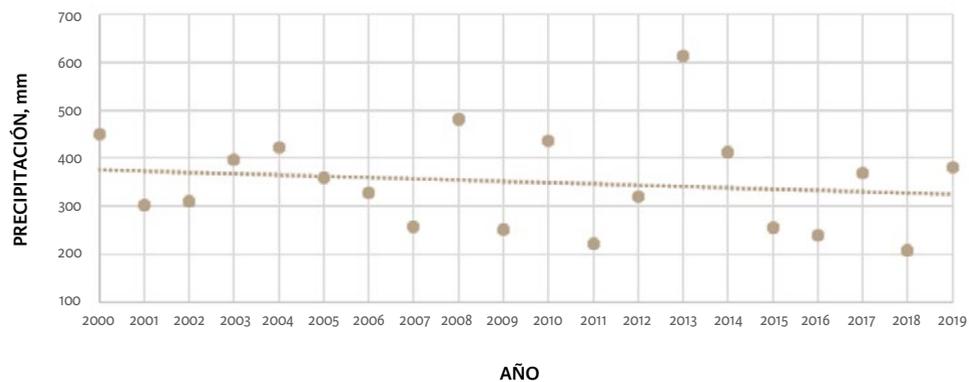
táreas de cobertura arbórea, con una aceleración marcada reciente: tan sólo en los últimos cuatro años ocurrió el 29% del total de dicha pérdida (ver figura 1) (Global Forest Watch, 2020a).

Otro aspecto trágico es que, del total de la deforestación en México, en el año 2001 la correspondiente al bosque primario representó el 5%; para el año 2019, dicha proporción ascendió al 20% (Global Forest Watch, 2020a y 2020b). Las entidades federativas que cuentan con mayor cobertura arbórea en el país (los estados del sureste y de la península de Yucatán) son también los que mayor deforestación han presentado en las últimas dos décadas (Global Forest Watch, 2017 y 2020a). Entre ellos, por ejemplo, Oaxaca ocupa el sexto lugar en pérdida de cobertura arbórea durante el periodo 2001-2017 (Global Forest Watch, 2018), con una pérdida acumulada de 288,000 hectáreas en dicho periodo.

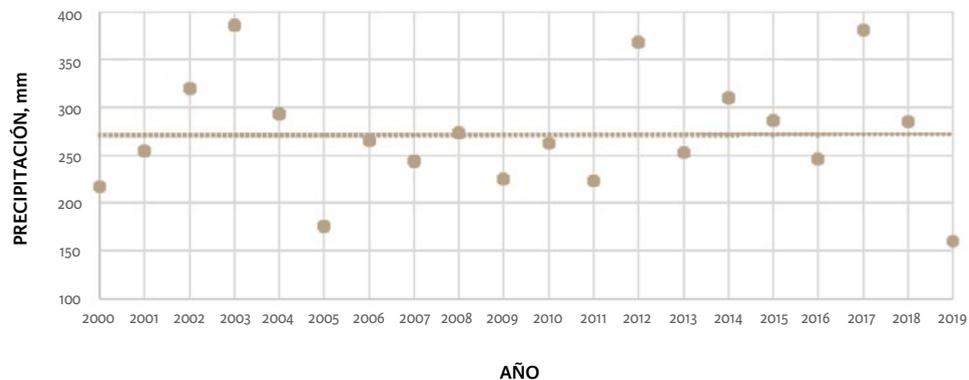
Así, no es de extrañar que en la cuenca del río Verde (sur de Oaxaca), que contabiliza 1,100 kilómetros cuadrados (Comisión Nacional del Agua, 2017), se haya notado que, entre las observaciones de precipitación correspondientes al mes de junio durante los últimos cuarenta años, la menor de todas haya ocurrido en el año 2019 (Servir Global, 2020). Caso similar se observa para el mes de septiembre: en el año 2018 se registró la segunda menor precipitación en los últimos cuarenta años (Servir Global, 2020). Cabe mencionar que junio



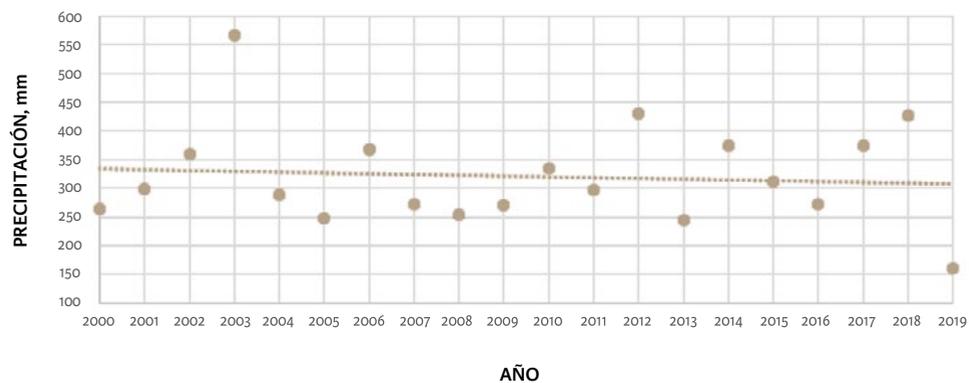
**Figura 2.** Cuenca del río Verde, Oaxaca. Altura de precipitación mensual correspondiente a los meses de junio, 2000-2019 (SERVIR, 2020).



**Figura 3.** Cuenca del río Verde, Oaxaca. Altura de precipitación mensual correspondiente a los meses de septiembre, 2000-2019 (SERVIR, 2020).



**Figura 4.** Cuenca del Río Atoyac-Paso de la Reina, Oaxaca. Altura de precipitación mensual correspondiente a los meses de junio, 2000-2019 (SERVIR, 2020)



**Figura 5.** Cuenca del Río Atoyac-Paso de la Reina, Oaxaca. Altura de precipitación mensual correspondiente a los meses de septiembre, 2000-2019 (SERVIR, 2020).

y septiembre son los meses más lluviosos en dicha cuenca, de hecho, las tendencias de precipitación en ambos meses son a la baja considerando los últimos veinte años (ver figuras 2 y 3).

Por su parte, en la cuenca aledaña río Atoyac-Paso de la Reina, con un área de 5,800 kilómetros cuadrados (Comisión Nacional del Agua, 2017), se puede observar que, en los últimos 40 años, el mes de junio de 2019 registró la segunda menor precipitación de dicha época del año, y para los meses de septiembre, el correspondiente a 2018 fue el que registró la menor precipitación (Servir Global, 2020). Además, las tendencias de dicha variable hidrometeorológica en los últimos veinte años para ambos meses son nula y a la baja, respectivamente (ver figuras 4 y 5).

Cuando faltan diez años para que se cumpla el plazo de tener una tasa cero de deforestación a nivel nacional, es necesario reforzar el cumplimiento de la normatividad correspondiente e incentivos para una mayor protección de los bosques en México. No es sólo cuestión de la conformidad con tratados internacionales: se está poniendo en riesgo la biodiversidad y el sustento de vida de la siguiente generación de mexicanos.

## REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua. (4 de septiembre de 2017).** Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas pertenecientes a la Región Hidrológica número 20 Costa Chica de Guerrero. (S. d. Gobernación, ed.). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5496053&fecha=04/09/2017](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5496053&fecha=04/09/2017)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016).** Forests and Climate Change. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6374e.pdf>
- Global Forest Watch. (2018).** Ubicación de la pérdida de cobertura arbórea en México. Cambio forestal (México). Recuperado de <https://www.globalforestwatch.org>
- Global Forest Watch. (2020a).** Pérdida de cobertura arbórea en México. Cambio forestal (México). Recuperado de <https://www.globalforestwatch.org>
- Global Forest Watch. (2020b).** Pérdida del bosque primario en México. Cambio forestal (México). Recuperado de <https://www.globalforestwatch.org>
- Gobierno de la República. (2015).** Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020–2030. Ciudad de México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019).** Climate Change and Land. Summary for Policymakers. Recuperado de [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/4.SPM\\_Approved\\_Microsite\\_FINAL.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/4.SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf)
- Mongabay. (16 de julio de 2020).** Rainforests Help Maintain the Water Cycle. Mongabay. Recuperado de <https://kids.mongabay.com/elementary/404.html#content>
- Servir Global. (2020).** ClimatesERV. (N. O. V3.15.0, Recopilador) Recuperado de <https://climateserv.servirglobal.net/>
- Union of Concerned Artists. (11 de marzo de 2020).** The Connection Between Climate Change and Wildfires. Recuperado de <https://www.ucsusa.org/resources/climate-change-and-wildfires#.Wuc83dPwbB1>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015).** Paris Agreement. Recuperado de [http://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_english\\_.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf)

# Mitigación de riesgos hidrometeorológicos para casa habitación en México<sup>1</sup>

Guillermo Einar Moreno Quezada

---

► 1. Artículo publicado en enero de 2019 en el número 7 de la revista *Entorno UDLAP*.



Las áreas urbanas y rurales de México continúan experimentando riesgos de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones. Una alternativa para mitigar sus efectos es la contratación de seguros. En este artículo, tomando como base la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos, en contraste con las tarifas de compañías aseguradoras, se analiza el acceso de los ciudadanos a esta alternativa y se proponen esquemas de aseguramiento viables, como la participación proporcional entre ciudadanos y gobierno.

Áreas urbanas y rurales se encuentran experimentando retos importantes en materia de agua. Por un lado, tenemos los casos en donde el exceso de precipitación exige la rápida cuantificación de los daños y la pronta recuperación de la infraestructura y, por otro, se encuentran las sequías que encarecen el líquido vital y generan problemas de salud pública. En ambos casos, para mitigar el riesgo, se encuentra la alternativa de contratación de seguros.

A la expectativa de los resultados que nos dará la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2018 podemos previamente contrastar los resultados del estudio anterior contra las tarifas que compañías aseguradoras como Afirme, Banorte, Banco de Bajío, Royal & SunAlliance, Inbursa, Banamex, Santander, HSBC y BBVA Bancomer ofrecen en materia de seguros para casa habitación.

Aunque todas las compañías aseguradoras incluyen coberturas de riesgos hidrometeorológicos, se recomienda, previo a la contratación de cualquiera de ellas, leer detenidamente las condiciones generales de la cobertura, ya que ahí se encontrarán descritas las características y condiciones del seguro y, posterior a la contratación de la cobertura, revisar que en la carátula de la póliza se especifique el límite máximo de responsabilidad para las coberturas, el deducible (en pesos y/o porcentaje) que se aplicará en cada cobertura y la coincidencia de las condiciones generales con la información previamente recibida.

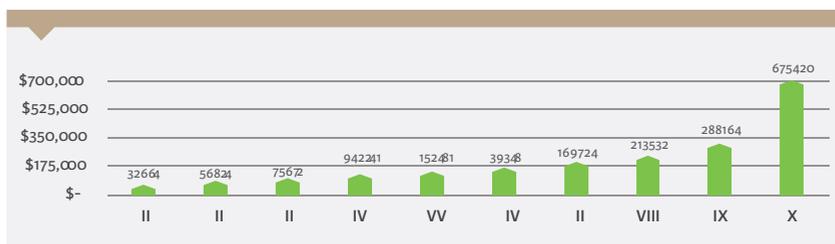
De acuerdo con los cuadros comparativos publicados por la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (Condusef), para el 2017 se tiene la siguiente información disponible:

Seguro para casa habitación		
Valor de la vivienda: hasta \$1,500,000.00 MN		
Compañía	Prima anual en pesos riesgo medio* / sísmica 2	Prima anual en pesos riesgo alto* / sísmica 2
Afirme	\$3,786.56	\$7,757.36
Casa Afirme Plus Banca		
Banco del Bajío. Royal & Sunalliance Seguros (México) S. A. de C. V. Paquete Protección Total	\$8,442.00	\$11,916.00
Seguros Banorte	\$5,175.97	\$8,408.61
Seguro de Hogar Banorte		
Inbursa Línea Habitt	\$4,981.34	\$4,981.34
Banamex Tiempos de Hogar	\$6,420.48	\$12,059.92
Santander Casa Segura	\$6,723.00	\$10,987.00
HSBC Seguro de Casa Habitación	\$6,745.32	\$11,918.96
BBVA Bancomer Hogar Seguro Plan Plus	\$15,968.07	\$15,968.07
Costo promedio	\$7,280.34	\$10,499.66
*Prima total anual, incluye derecho de póliza e impuestos.		

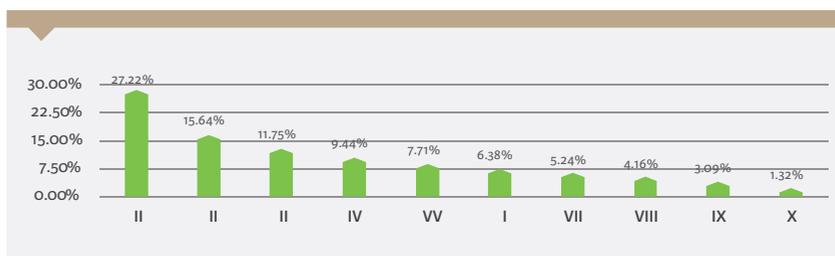
**Tabla 1.** Seguro para casa habitación. Fuente: Condusef, 2017.

Como se puede observar en la tabla 1, en algunos casos el cambio de zona de riesgo puede llegar a incrementar en más del cien por ciento el costo de la póliza (Casa Afirme), aunque también hay casos en que no representa ningún sobrecosto (Inbursa y BBVA Bancomer). En promedio, el costo anual para adquirir la cobertura de casa habitación es de \$8,890.00 MN para una vivienda con valor de hasta \$1,500,000.00 MN.

Los resultados de la ENIGH (2016) estiman que en México existen 33.5 millones de hogares, con 3.7 integrantes promedio por hogar, de los que 23.2% residen en localidades rurales y 76.8% en localidades urbanas. Para presentar los ingresos por hogar se dividió el total de hogares en diez partes iguales obteniendo la siguiente distribución (figura 1):



**Figura 1.** Ingreso corriente total anual por hogar en deciles de hogares. Fuente: ENIGH, 2016.



**Figura 2.** Porcentaje anual del ingreso total para la adquisición de una cobertura de casa habitación. Fuente: elaboración con datos de la ENIGH, 2016 y Condusef, 2017.

Considerando el costo promedio anual de \$8,890.00 para la adquisición de un seguro de casa habitación, los porcentajes que cada decil de hogares tendría que dedicar de su ingreso corriente total anual se presentan en la figura 2.

Cada decil representa a 3.35 millones de hogares en nuestro país, por lo que se observa que más de diez millones de hogares tendrían que asignar un porcentaje mayor al 11% de su ingreso total para el aseguramiento de su vivienda. El porcentaje llega hasta un 27.22 % para el decil con menor ingreso. La probabilidad de que los hogares que deben destinar más del 11% de su ingreso total anual realmente lo hagan es baja, no debido a la falta de sensibilidad o a un nivel bajo de aversión al riesgo sobre la cobertura del mismo, sino a la insuficiencia del ingreso disponible.

A continuación se observará el comportamiento de las proporciones y categorías de gasto por hogar, según la misma ENIGH 2016:

Categoría	Porcentaje
Alimentos, bebidas y tabaco	35.3%
Servicios de educación	12.4%
Cuidados y efectos personales	7.4%
Vestido y calzado	4.6%
Cuidados de la salud	2.7%
Limpieza y cuidados del hogar	5.9%
Transferencias de gasto	2.9%
Vivienda, energía y combustibles	9.5%
Transporte	19.3%
TOTAL	100%

**Tabla 2.** Proporción de gasto corriente por hogar

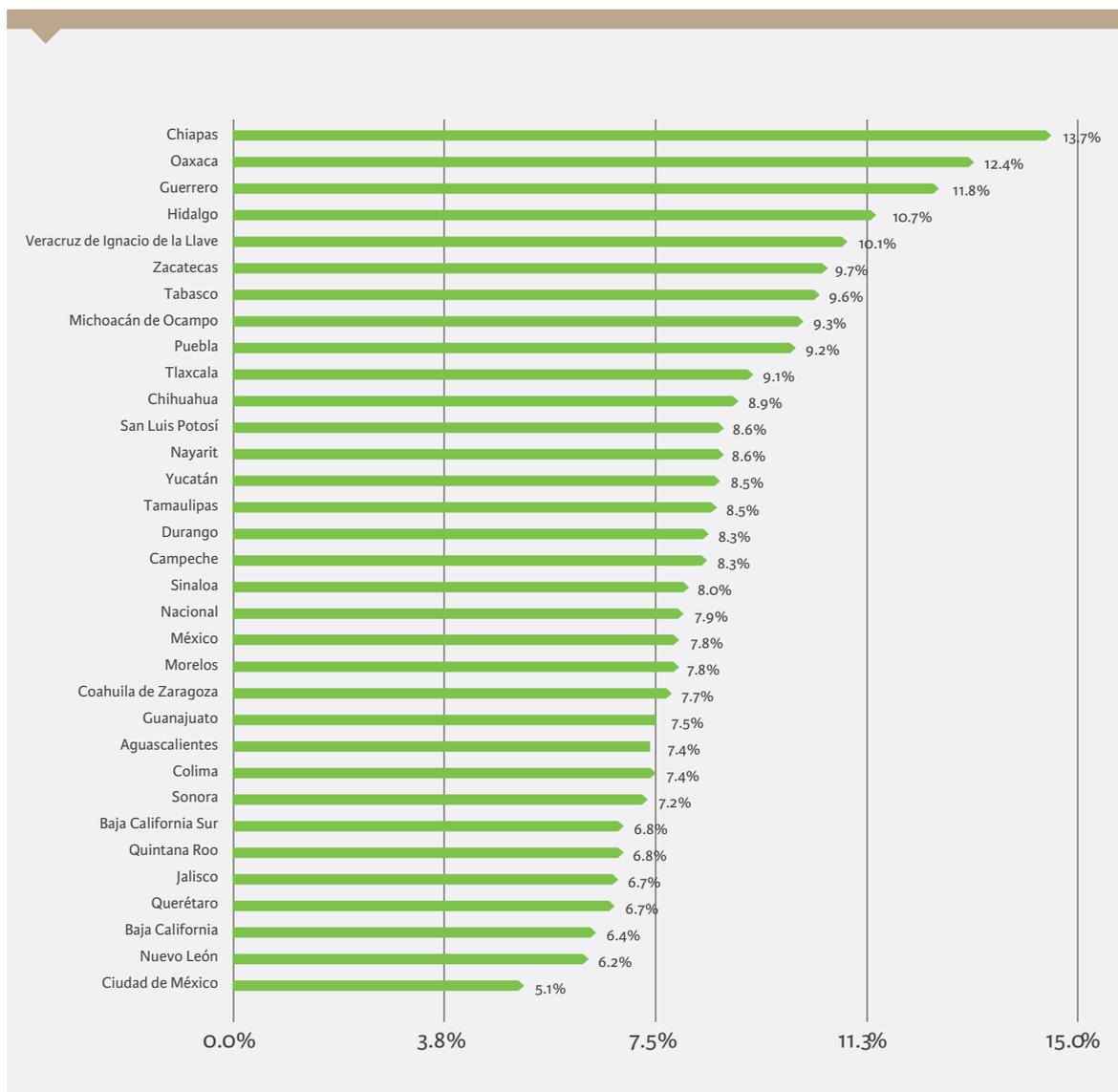
La tabla 2 considera un gasto anual promedio de \$112,572.00 a nivel nacional, por lo que, considerando nuevamente el costo de \$8,890.00 de la cobertura, éste representa el 7.9% en promedio de asignación por hogar. Observemos ahora, en los mismos términos de gasto, pero por entidad federativa, el porcentaje que representa por hogar anualmente la adquisición de coberturas para casa habitación, considerando el mismo costo promedio de la cobertura.

La tabla 3 muestra 18 entidades federativas que se encuentran por arriba del 7.9% de la media nacional y hasta un porcentaje de 13.7% en el caso de Chiapas. Adicional a Chiapas, los estados de Veracruz, Hidalgo, Guerrero y Oaxaca superan el 10%.

El bajo poder adquisitivo de la población dificulta la posibilidad de contratar coberturas para casa habitación que contemplen riesgos meteorológicos; esto debe ser razón suficiente para calibrar los seguros disponibles.

Al día de hoy, los seguros o coberturas de casa habitación incluyen en general cobertura para las siguientes causas:

- \* Incendio y/o rayo (edificio y contenidos)
- \* Extensión de cubierta (edificio y contenidos)
- \* Fenómenos hidrometeorológicos (edificio y contenidos)
- \* Remoción de escombros (edificio y contenidos)
- \* Gastos extraordinarios (edificio y contenidos)
- \* Cristales (edificio y contenidos)



**Figura 3.** Porcentaje del gasto corriente anual para adquirir la cobertura de casa habitación por entidad federativa (elaboración con datos de la ENIGH 2016 y Condusef, 2017).

- \* Robo de contenidos
- \* Robo de joyas y/o artículos de difícil reposición
- \* Dinero en efectivo
- \* Equipo electrodoméstico y electrónico
- \* Responsabilidad civil familiar
- \* Responsabilidad civil patronal
- \* Servicios de asistencia
- \* Terremoto y erupción volcánica (edificio y contenidos)

Considerando el impacto derivado de una inundación, podríamos seleccionar sólo la cobertura para fenómenos hidrometeorológicos, es decir, una (7.14%) de las catorce opciones disponibles. Es momento de que las aseguradoras ofrezcan productos que contemplen coberturas a la medida, que se dirijan a la mitigación del riesgo en particular que al usuario le preocupe. Así, lo que se busca es que los productos de las empresas aseguradoras sean más competitivos en precio, maximizando la posibilidad de que el usuario se encuentre protegido —principalmente— del impacto de fenómenos hidrometeorológicos.

En materia de política pública, el Gobierno federal, estatal y municipal pueden —y deben— entrar en acción presupuestando la adquisición de coberturas que cubran los riesgos hidrometeorológicos de colonias, municipios o regiones enteras. En 2017 los recursos autorizados para el Fondo Natural de Desastres Naturales (Fonden) con declaratoria de desastre por impacto de riesgo hidrometeorológico superan los tres mil millones de pesos. Será difícil mantener fondos suficientes para los años venideros considerando el creciente número de tormentas tropicales y huracanes al año que impactan a nuestro país.

Ya que los recursos gubernamentales son finitos, los ciudadanos pueden participar en la adquisición de coberturas. Una alternativa de fondeo para este tipo de iniciativas contemplaría una participación proporcional entre sociedad y Gobierno. Los mecanismos de recaudación pueden establecerse inclusive utilizando contribuciones ya instaladas como el pago del impuesto predial o a través de los organismos operadores de agua potable y alcantarillado. Gobierno y sociedad deben desarrollar una cultura preventiva de gestión de riesgos.

## REFERENCIAS

- Condusef.** Seguro de Hogar de Alto Riesgo. Recuperado de <https://www.condusef.gob.mx/comparativos/comparativos.php?idc=3&im=seguros.jpg&h=1>
- Condusef.** Seguro de Hogar de Bajo Riesgo. Recuperado de <https://www.condusef.gob.mx/comparativos/comparativos.php?idc=3&im=seguros.jpg&h=1>
- INEGI.** Resultados de Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2016. Recuperado de [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/enigh/enigh\\_o8.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/enigh/enigh_o8.pdf)
- Recursos autorizados Fondo Nacional de Desastres (Fonden) (2018).** Recuperado de [http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/Recursos\\_Autorizados\\_por\\_Declaratoria\\_de\\_Desastre](http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/Recursos_Autorizados_por_Declaratoria_de_Desastre) <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivilResource/36/27/images/2018FONDEN.pdf>



# Perspectiva actual y futura de los recursos hídricos en la cuenca del río Bravo<sup>1</sup>

P. Hernández-Romero y C. Patiño-Gómez

---

► 1. Artículo publicado en mayo de 2018 en el número 5 de la revista *Entorno UDLAP*.



## ANTECEDENTES

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y con los resultados de los estudios técnicos realizados en la región hidrológica (RH) número 24 Bravo-Conchos, se estima que para abastecer en su totalidad a esta región se necesitan 11,881.3 hectómetros cúbicos<sup>1</sup> (hm<sup>3</sup>) anuales. Del volumen total extraído, el 86% del abastecimiento del agua en la región para todos los usos proviene de ríos, corrientes superficiales y embalses, es decir, solamente el 14% proviene de fuentes subterráneas o acuíferos. Estas cifras son significativas ya que el volumen de los escurrimientos naturales generados es en promedio de 5,590 hm<sup>3</sup>/año, habiendo un déficit de abastecimiento natural de agua de un poco más del 52%.

## CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DEL AGUA

Los volúmenes concesionados o concedidos a los usuarios de aguas nacionales en los organismos de cuenca se encuentran en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa). Este registro tiene una clasificación del agua según su uso, sin embargo, la Conagua ha empleado el término «uso agrupado» para integrar en una sola clasificación varios rubros establecidos en el REPDa, diferenciando si es uso consuntivo o no. Según Conagua (2016a) del volumen total de agua para uso consuntivo determinado para la RHA-VI, un volumen de 7,091.79 hm<sup>3</sup>/año (76.2%) se emplea para atender los requerimientos actuales de uso del sector agrícola, abastecimiento público e industria autoabastecida de la RH-24: Bravo-Conchos (Conagua, 2011). En la tabla 1 se muestran las fuentes de abastecimiento por uso consuntivo, los porcentajes que representan para toda la región y los volúmenes concesionados por usos agrupados.

Según la Conagua (2011), el volumen de agua concesionado para generación de energía (uso no consuntivo) es de 4,789.65 hm<sup>3</sup>/año, la cual está dividida en las hidroeléctricas La Boquilla (713.61 hm<sup>3</sup>/año), Madero (245.79 hm<sup>3</sup>/año), La Colina (741.74 hm<sup>3</sup>/año), La Amistad (1,464.26 hm<sup>3</sup>/año) y Falcón (1,624.26 hm<sup>3</sup>/año).

---

► 1. hm<sup>3</sup> = 1,000,000 m<sup>3</sup> (un millón de metros cúbicos).

USO CONSUNTIVO DEL AGUA (hm <sup>3</sup> /año)				
Uso	Superficial	Subterránea	Total	%
Agrícola	4,706.99	1,315.95	6,022.94	84.93%
Abastecimiento público	636.41	191.27	827.68	11.67%
Industria autoabastecida	58.69	182.49	241.17	3.40%
Totales	5,402.09	1,689.71	7,091.79	100.00%

**Tabla 1.** Fuentes de abastecimiento por uso consuntivo del agua de la RH-24: Bravo-Conchos. Elaboración propia con datos de Conagua (2011).

## TRATADOS INTERNACIONALES

El Tratado de 1944 es uno de los principales tratados binacionales referentes al agua entre México y Estados Unidos, que se establecieron para regular la distribución del agua entre ambos países. Éste establece que México recibiría 1,850.23 hm<sup>3</sup>/año de agua proveniente de EE. UU. asignada del río Colorado, y EE. UU. recibiría un tercio de agua que llegue al río Bravo (431.7 hm<sup>3</sup>/año) procedente de los denominados 6 tributarios. El cumplimiento de este convenio internacional se ha visto afectado por las sequías que han azotado a México en años recientes. Este fenómeno provocó, en algunos periodos, una falta de entregas de agua a EE. UU. en casi un ciclo completo, provocando intensas negociaciones binacionales para lograr una solución cooperativa ante esta crisis climática.

## SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA

La presión hídrica en la región ha aumentado de manera muy rápida en los últimos años. El grado de presión, definido como el volumen de agua concesionado dividido entre el volumen de agua renovable, era del 50% en 2003 e incrementó a 77% en 2015. De acuerdo con evaluaciones de la CONAGUA cada una de las subcuencas que conforman la región tiene un déficit hídrico, ya que no cuentan con disponibilidad de agua. Todo esto como consecuencia de los siguientes factores:

1) *Incremento poblacional.* En el año 2010, la población en la región alcanzó los 10.98 millones de habitantes de acuerdo con el censo de población y vivienda de ese año. Acorde al Consejo Nacional de Población (CONAPO) para el año



**Figura 1.** Superficie física regada y volúmenes distribuidos a los distritos de riego asentados en la RH-24. Elaboración propia con datos de la Conagua (2016b).

2030 se proyecta que habrá 13.91 millones de habitantes en la región. Se establece que, derivado del crecimiento poblacional extraordinario, en un futuro cercano se necesitará más agua para uso agrícola y producción de alimentos.

2) *Aumento de la demanda de agua para irrigación.* Un ejemplo claro son los volúmenes de agua distribuidos a los usuarios de los distritos de riego (DR) asentados en la cuenca, ya que se pasó de 1,516.17 hm<sup>3</sup>/año distribuidos en 2005 a 1,652.06 hm<sup>3</sup>/año en 2015. Hoy en día se requiere 9% más de agua para la agricultura, a pesar de que la superficie física regada ha disminuido un poco más de 32% (276,966 ha contra 187,071 ha) en ese mismo periodo (Conagua, 2016b). En la figura 1 se muestra la superficie física regada y los volúmenes distribuidos en el periodo mencionado.

3) *Creciente urbanización.* La RH-24 es predominantemente urbana, con un 99.7% del total de la población asentada en localidades urbanas<sup>2</sup>. Así los retos relacionados con el abastecimiento y saneamiento de agua son enormes, y en

► 2. De acuerdo con el INEGI, se refiere a localidades donde habitan más de 2,500 personas.

un futuro cercano se requerirá de un uso sumamente eficiente para hacer frente al aumento de tal concentración de personas.

4) *Contaminación de los cuerpos de agua*. Las descargas de aguas residuales se clasifican básicamente en dos categorías: municipales e industriales. Tomando en consideración sólo las aguas residuales municipales, en la RH-24 se generan 853.3 hm<sup>3</sup>/año de las cuales el 95.4% (813.9 hm<sup>3</sup>/año) son colectadas y canalizadas a las plantas de tratamiento. El 4.6 % restante, que equivale a 39.3 hm<sup>3</sup>/año, son vertidas directamente a los cuerpos de agua de la región. Del total recolectado, sólo el 88.4% es tratado, y el restante es vertido al medioambiente sin ningún tipo de tratamiento.

5) *Sobreexplotación de acuíferos*. Dentro de la RH-24 se encuentran 50 acuíferos y, de acuerdo con el *Diario Oficial de la Federación* (DOF), 33 de ellos cuentan con disponibilidad de agua y los 17 restantes no cuentan con ella. Además, existen cinco acuíferos sobreexplotados y cinco más están bajo el fenómeno de salinización de suelos y agua subterráneas salobres. El volumen de recarga regional media de estos acuíferos es 3,674.5 hm<sup>3</sup>/año y el volumen de extracción concesionado es de 2,355.69 hm<sup>3</sup>, mientras que su índice de explotación<sup>3</sup> es de 0.64 (Conagua, 2017c).

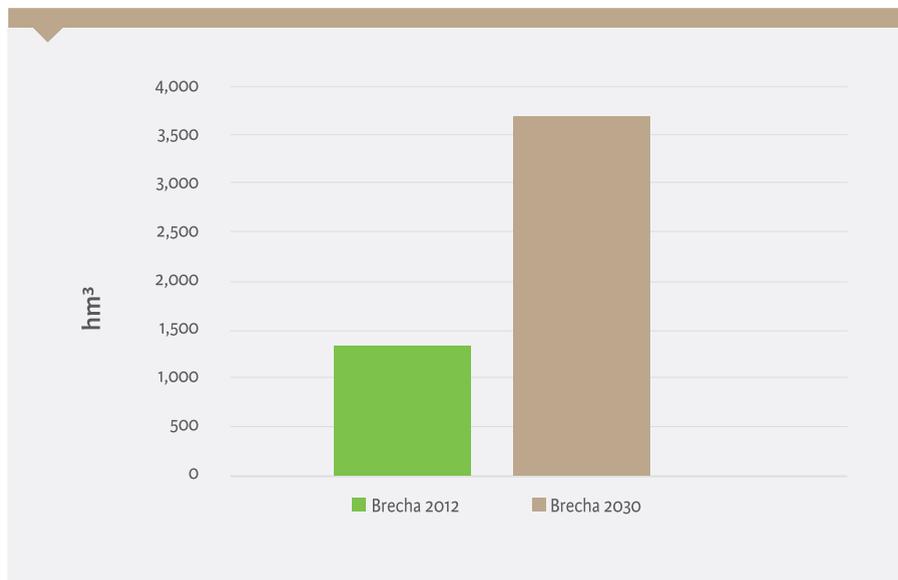
## BRECHA HÍDRICA ACTUAL Y FUTURA DE LA REGIÓN AL 2030

En el año 2012, la Conagua realizó un análisis técnico prospectivo (ATP) con el objetivo de generar alternativas de oferta y demanda de agua, así como determinar los retos y las posibles soluciones para cada uno de los ejes de la agenda del agua en esta región hidrológica. Como resultado, la Agenda 2030 se estructuró en cuatro importantes prioridades nacionales: 1) cuencas y acuíferos en equilibrio, 2) ríos limpios, 3) cobertura universal de agua potable, alcantarillado y saneamiento y 4) asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas.

Con base en esta agenda, la RHA-VI Río se dividió en 24 células de planeación<sup>4</sup> utilizando los límites hidrológicos estatales. Las células de planeación

▸ 3. Índice de explotación = volumen de extracción concesionado / volumen de recarga.

▸ 4. Una célula de planeación se define como un conjunto de municipios que pertenecen a un sólo estado dentro de los límites de una subregión hidrológica (CONAGUA, 2012).



**Figura 2.** Brecha hídrica 2012 y 2030. Elaboración propia con datos de la Conagua (2012).

con mayor brecha hídrica<sup>5</sup> estimada actual son: Conchos Chihuahua con 695.2 hm<sup>3</sup> (50.9%), Salado Nuevo León con 223 hm<sup>3</sup> (16.3%) y Coahuila Sureste con 188.9 hm<sup>3</sup> (13.8%).

La perspectiva para el año 2030 es que la demanda de agua en la RH-24 aumente en un 33% y la oferta en un 3%, aumentando la brecha en un 68%, pasando de 1,366 hm<sup>3</sup> a 3,662 hm<sup>3</sup> (figura 2). El aumento de la demanda de agua en la región estará relacionado principalmente con el crecimiento acelerado de la población, la recuperación de superficie agrícola en distritos de riego y el crecimiento industrial (Conagua, 2012).

En la tabla 2 se muestra la brecha hídrica por célula de planeación para el año 2030; destaca la célula de Conchos Chihuahua la cual representa el 40% de la brecha total con 1,432 hm<sup>3</sup>. Si se analiza el déficit del agua en la región como la relación de brecha y oferta<sup>6</sup>, se aprecia que las cinco células con mayor brecha/oferta son: Monclova Coahuila (329%), Acuña Coahuila (277%), Coahuila Sureste (233%), Salado Nuevo León (106%) y Sabinas Coahuila (103%).

► 5. Brecha hídrica = demanda de agua - oferta sustentable de agua.

► 6. Relación entre brecha y oferta = valor de la brecha / oferta sustentable

Brecha hídrica al año 2030 por célula de planeación (hm <sup>3</sup> )									
ID	Clave	Célula de planeación	Estado	Superficie km <sup>2</sup>	Población Habitantes	Oferta sustentable hm <sup>3</sup>	Demanda hm <sup>3</sup>	Brecha hm <sup>3</sup>	Brecha/oferta %
1	501	Amistad	Coahuila	11,462.96	126,238	45	83	38	84%
2	502	Cuatro Ciénegas	Coahuila	37,175.61	24,111	91	113	22	24%
3	503	Piedras Negras	Coahuila	16,067.93	219,087	332	450	118	36%
4	504	Sabinas	Coahuila	11,023.06	155,867	37	75	38	103%
5	505	Monclova	Coahuila	14,173.93	325,465	45	193	148	329%
6	506	Coahuila Sureste	Coahuila	16,479.94	736,543	123	410	287	233%
7	507	Acuña	Coahuila	2,196.69	9,768	65	245	180	277%
8	508	Salado	Coahuila	7,409.19	6,444	69	78	9	13%
9	805	Juárez Bravo	Chihuahua	9,987.91	1,331,000	369	548	179	49%
10	807	Conchos	Chihuahua	100,467.78	1,338,216	1,742	3,174	1,432	82%
11	1901	Salado	Nuevo León	16,373.38	69,125	386	795	409	106%
12	1902	Monterrey	Nuevo León	20,085.44	3,925,548	1,074	1,452	378	35%
13	1903	Linares	Nuevo León	3,163.08	81,225	128	130	2	2%
14	1904	Aramberri Zaragoza	Nuevo León	3,953.41	20,425	58	58	0	0%
15	1905	Los Aldama	Nuevo León	3,480.17	9,751	38	51	13	34%
16	1906	Álamo	Nuevo León	3,519.36	13,972	7	7	0	0%
17	1907	Galeana	Nuevo León	7,009.03	38,930	65	82	17	26%
18	1908	Dr. Arroyo Mier y Noriega	Nuevo León	6,031.25	40,316	2	3	1	50%
19	2801	Tamaulipas Norte	Tamaulipas	16,693.88	1,580,942	1,658	2,049	391	24%
Totales				306,754.00	10,052,973	6,334	9,996	3,662	58%

**Tabla 2.** Brecha hídrica al año 2030 por célula de planeación (hm<sup>3</sup>). Elaboración propia con información de la Conagua (2012).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con datos oficiales de la Conagua, el déficit hídrico en la RH-24 es una realidad en la actualidad, ya que cada una de las cuencas que conforman la región no cuentan con disponibilidad, además, 17 de los 50 acuíferos en la cuenca tienen una disponibilidad negativa y cinco de ellos están siendo sobreexplotados. La brecha hídrica en la RH-24 en el año 2012 se estimó en 1,366 hm<sup>3</sup> y la brecha que se espera para el año 2030 es de 3,662 hm<sup>3</sup> (168% más), esto sin considerar los efectos del cambio climático. Esta brecha está en función de la demanda de agua y la oferta sustentable. De acuerdo a la Conagua (2012), se espera que aumente la oferta sustentable de agua un 3% conforme a la tendencia actual de infraestructura factible de construirse, y la demanda de agua, un 33% para ese año, lo cual está relacionado por el crecimiento acelerado de la población, el aumento del riego de la superficie agrícola y el crecimiento acelerado de la industria.

## REFERENCIAS

- Conagua. (2011).** Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la región hidrológica número 24 Bravo-Conchos. México, *Diario Oficial de la Federación*.
- Conagua. (2012).** *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico Administrativa VI Río Bravo*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua. (14 de septiembre de 2016a).** Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). *Información Estadística por Organismo de Cuenca*. Recuperado de [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/154673/REPGA\\_GR-06.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/154673/REPGA_GR-06.pdf)
- Conagua. (10 de septiembre de 2016b).** Estadísticas hidrométricas. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Recuperado de <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaHidrometrica/organismo.php>
- Conagua. (26 de agosto de 2017c).** Agua subterránea. *Disponibilidad por acuíferos*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/disponibilidad-por-acuiferos-66095>

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia de Tecnología (Conacyt), en el marco el programa Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales, proyecto 240080. Los autores agradecen el apoyo de la Universidad de las Américas Puebla.

---

# Semblanzas

**María Elena Cerecedo Arroyo**

Ingeniera civil y candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla. Miembro de la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos donde escribe activamente artículos de divulgación científica. Su línea de investigación tiene que ver con la modelación dinámica de cuencas.

**David Eduardo Guevara Polo**

Ingeniero civil por la Escuela de Ingeniería de la UDLAP y candidato a doctor en Ciencias del Agua en la misma institución. Está asociado a la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos con sede en la UDLAP y es miembro del Comité del Agua del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Actualmente, desarrolla su proyecto de investigación en donde utiliza el enfoque de dinámica de sistemas para estudiar el efecto de oscilaciones climáticas en acuíferos.

**Paul Hernández Romero**

Ingeniero civil egresado de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), maestro en Administración de Proyectos con especialidad en Construcción y doctor en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). La mayor parte de su investigación está enfocada en seguridad hídrica, aplicación de SIG y modelación hidrológica para la gestión integrada del agua. Ha dirigido y participado en proyectos multidisciplinarios nacionales e internacionales en la región fronteriza y cuencas del centro de México. Es líder climático y voluntario en The Climate Reality Project.

**Ana Margarita Maldonado Barragán**

Licenciada en Biología por la UDLAP. Maestra en Ciencias por la University of Groningen, Países Bajos. Actualmente forma parte del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas de España donde realiza estudios predoctorales.

**Poliopetro F. Martínez Austria**

Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Autor de 192 publicaciones académicas, entre artículos científicos, libros y capítulos de libro. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1994. Actualmente profesor de la UDLAP y director del proyecto de Cátedra UNESCO-UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos. Ha recibido diversos reconocimientos nacionales e internacionales.

**Regina Mijares Fajardo**

Candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla. Estudió la licenciatura en Ingeniería Civil en la misma institución. Es miembro de la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos, donde participa como coordinadora-editora del blog «Agua y riesgos hidrometeorológicos». Su trabajo de investigación está enfocado hacia el estudio de las teleconexiones entre sequías y oscilaciones climáticas.

**Guillermo Einar Moreno Quezada**

Doctor en Ciencias Financieras por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Ciudad de México. Actualmente miembro del Sistema Nacional de Investigadores con el nivel de candidato. Es director académico del Departamento de Finanzas y Contaduría de la Escuela de Negocios

y Economía en la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). Dentro de la UDLAP también ha tenido a su cargo distintos puestos administrativos, como director general de Mercadotecnia y director de UDLAP Consultores. Sus áreas de especialidad son contabilidad y finanzas, así como planeación estratégica, mercadotecnia y desarrollo organizacional, en las que realiza programas de consultoría empresarial.

### **Carlos Patiño Gómez**

Doctor en Ingeniería Civil por The University of Texas en Austin, maestro en Ciencias con especialidad en Hidráulica por el Instituto Politécnico Nacional donde también se graduó como ingeniero civil. Profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la UDLAP. Es autor y coautor de artículos técnicos publicados en congresos, revistas arbitradas nacionales e internacionales en colaboración con notables investigadores a nivel nacional e internacional, así como autor y coautor de ocho libros publicados.

### **María de los Ángeles Areli Piña Ramírez**

Licenciada en Ingeniería Civil por la Universidad de las Américas Puebla. Estudió la Maestría en Ciencias (Built Environment) en Korea University, Seúl, Corea del Sur. Actualmente es candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla. Su trabajo de investigación está enfocado en la construcción de un índice ecohidrológico.

**Silvia Reyna**

Profesora de tiempo completo del Departamento de Ciencias Químico Biológicas de la UDLAP de 1990 a 2017. Fue coordinadora de la Licenciatura de Ciencias Farmacéuticas.

**Uxmal Rodríguez Morales**

Licenciado en Biología por la Universidad de la Habana, maestro en Ciencias Fisiológicas por el Instituto de Fisiología de la BUAP. Actualmente realiza estudios de doctorado en Ciencias del Agua en la UDLAP. Su trabajo de investigación doctoral se enfoca en la teleconexión entre varias oscilaciones climáticas y las precipitaciones estivales.

**José Luis Sánchez Salas**

Profesor investigador del Departamento de Ciencias Químico Biológicas desde 1998 a la fecha y miembro del núcleo académico del doctorado en Ciencias del Agua (SNI nivel I).

**Pedro Andrés Sánchez Gutiérrez**

Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Química; candidato a doctor en Ciencias del Agua en la UDLAP. Está asociado a la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos con sede en la UDLAP y participa como voluntario en The Climate Reality Project ([www.climaterealityproject.org](http://www.climaterealityproject.org)), organización sin filiación partidista cuyo fin es brindar conocimientos y herramientas para construir conciencia pública sobre los desafíos que plantea el cambio climático. Tiene una experiencia de más de diez años en el servicio público, tanto en el sector educativo como en el ambiental. Ha participado en la Semana Mundial del Agua (2011, 2012 y 2014) como expositor.







---

## **Editorial UDLAP**

Rosa Quintanilla Martínez

**Jefa editorial**

Angélica González Flores

Guillermo Pelayo Olmos

**Coordinadores de diseño**

Andrea Garza Carbajal

Aldo Chiquini Zamora

**Coordinadores de corrección**

Andrea Monserrat Flores Santaella

**Coordinadora de pre prensa**

---

## **Directorio UDLAP**

Cecilia Anaya Berríos

**Rectora interina**

Martín Alejandro Serrano Meneses

**Decano de Investigación y Posgrado**

Luis Ricardo Hernández Molina

**Director de Investigación y Posgrado**

René Alejandro Lara Díaz

**Decano de la Escuela de Ingeniería**

Lorena Martínez Gómez

**Directora general de Planeación y Relaciones Institucionales**

# **Agua, cambio climático y eventos extremos**

## **Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos**

Artículos de difusión seleccionados 2017-2021

fue preparado por el Departamento de Publicaciones de la Universidad de las Américas Puebla para su publicación electrónica el 18 de mayo de 2022.

En la composición tipográfica se emplearon las familias Whitman, diseñada por Kent Lew y Karmina, de José Scaglione y Veronika Burian.

Edición para consulta sin fines comerciales.