



### Christian Domínguez Sarmiento

Christian es meteoróloga y doctora en Ciencias de la Tierra. Actualmente, es investigadora titular del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. Tiene 9 años de experiencia trabajando en la Universidad Nacional Autónoma de México y es experta en ciclones tropicales.



### Alejandro Jaramillo Moreno

Alejandro es ingeniero civil y doctor en Recursos Hídricos. Actualmente, es investigador titular del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. Tiene 15 años de experiencia trabajando en universidades de Colombia y México y es experto en hidrología.



# EL FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CICLONES TROPICALES (SIAT-CT) ANTE UN CLIMA CAMBIANTE

## Resumen

La intensidad y la duración de los fenómenos hidrometeorológicos extremos han sido afectadas por el cambio climático antropogénico. En las décadas recientes, los ciclones tropicales están siendo más peligrosos por sus vientos y lluvias. México es vulnerable a estos fenómenos y su sociedad debe estar preparada para enfrentarlos. Las agendas internacionales, como la Agenda 2030 y el Marco de Sendai 2015-2030, señalan que la sociedad requiere de información precisa para la toma de decisiones, así como herramientas que comuniquen adecuadamente la peligrosidad a la que estará expuesta. Así, surgen los Sistemas de Alerta Temprana, considerados como herramientas de coordinación entre la población y el gobierno, cuyo objetivo principal es salvaguardar la vida humana. México implementó el SIAT para ciclones tropicales (SIAT-CT) que ha funcionado a pesar de tener limitaciones. En un futuro, el SIAT-CT debe considerar las inundaciones y los deslizamientos en su definición de peligrosidad del ciclón tropical.

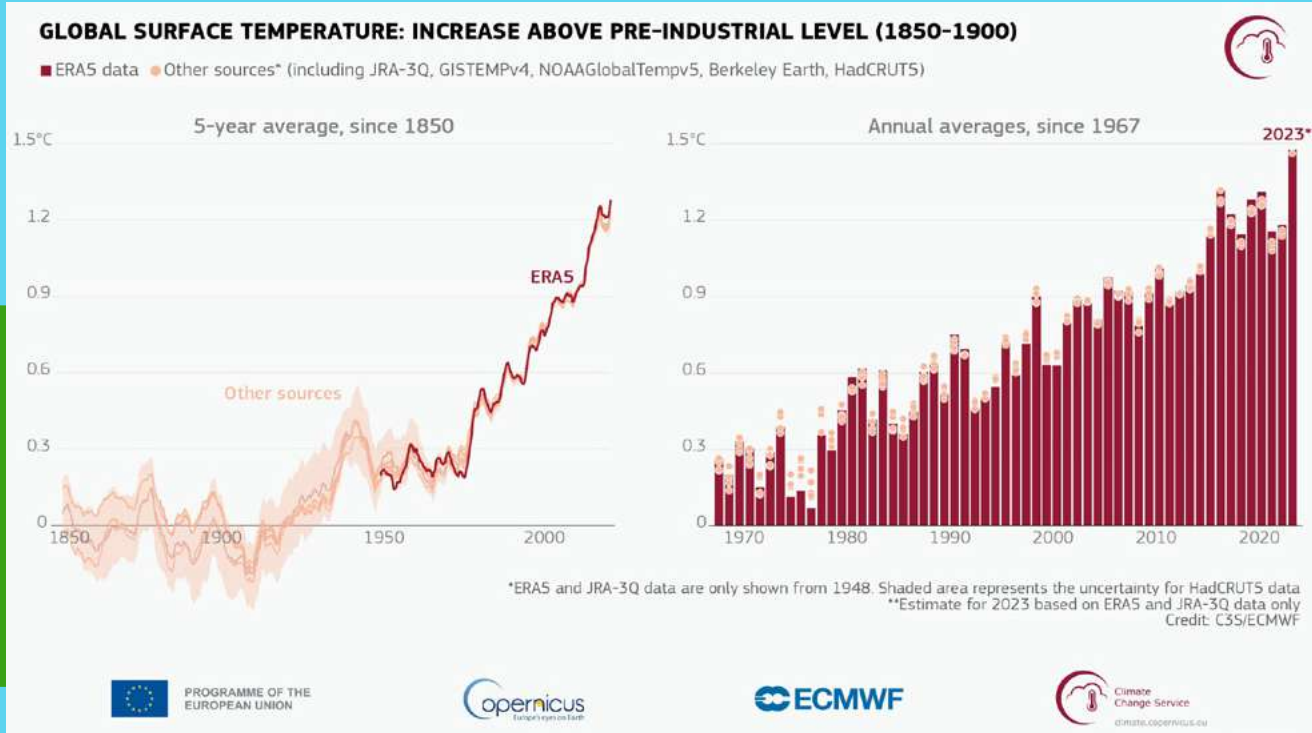
**E**l clima, definido como un promedio de la temperatura y la precipitación que ocurren durante varios meses, ha sido constantemente cambiante desde los tiempos prehistóricos del planeta. Sin embargo, estos cambios tomaron milenios para que ocurrieran. Desde la era industrial, el hombre ha estado modificando la composición de la atmósfera, emitiendo gases de efecto invernadero como son: el vapor de agua (producido por volcanes y por el aumento de la temperatura global que induce una mayor concentración debido a la evaporación de los océanos), el dióxido de carbono (producido por la quema de combustibles fósiles y sus reacciones químicas), el metano (producido por la ganadería, la producción y transporte del carbón, del gas natural y del petróleo), el óxido nitroso (producido por la quema de madera y el uso de fertilizantes), los hidrofluorocarburos (se usan para absorber calor en los congeladores, aires acondicionados, espumas y en extintores), perfluorocarburos (se originan en los procesos de fabricación industrial), entre otros. Estos gases de efecto invernadero permiten que la radiación solar no escape del planeta y se mantenga atrapada en la atmósfera, aumentando así la temperatura global de la Tierra y por ende, cambiando el clima.

Comúnmente, cuando se habla de los efectos del cambio climático, las personas tienden a pensar que falta mucho tiempo para sentir sus estragos. Sin embargo, estos efectos del cambio climático son cada vez más tangibles en todo el planeta. Por ejemplo, el año 2023 ha sido el año más caliente del que se tiene



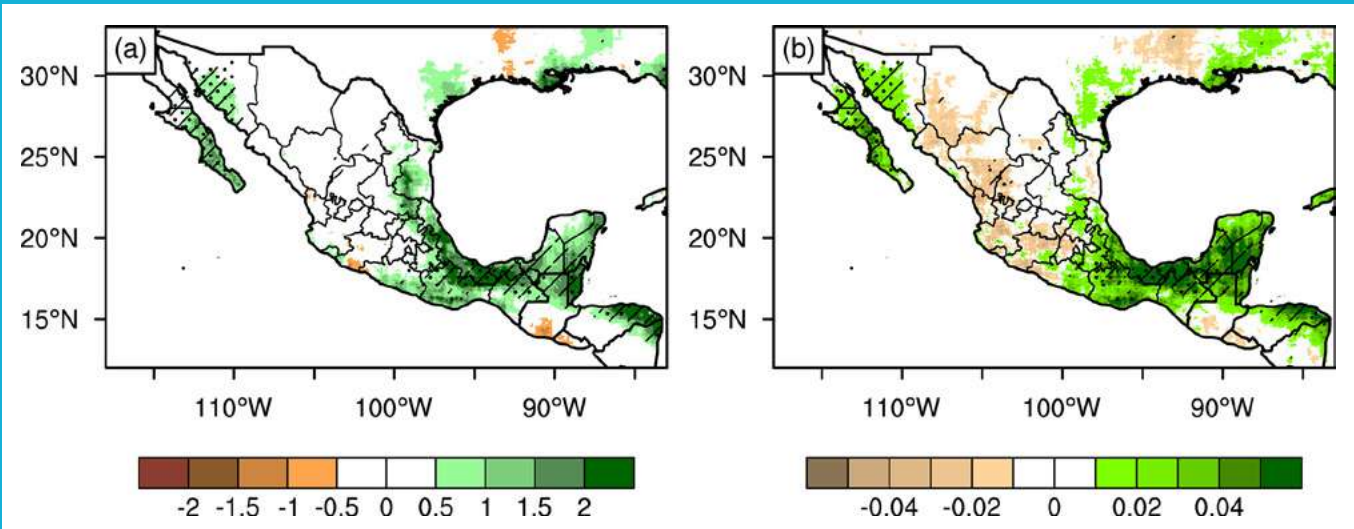
registro desde el periodo 1850-1900 (conocido como la era preindustrial) (Copernicus Climate Change Service, 2023), ya que el promedio anual de la temperatura fue de 1.48°C más caliente que durante la era preindustrial. ¿Por qué es importante este dato? porque el Acuerdo de París, celebrado en diciembre del 2015, del que México es parte, propone que la temperatura global del planeta no debe aumentar más de 2°C, preferentemente el incremento de la temperatura global debe ser menor a 1.5°C en comparación con la era preindustrial. ¿Será que el incremento de la temperatura global podrá mantenerse debajo de 1.5°C? ¿qué impactos tiene este aumento de la temperatura en el planeta? Estas preguntas son cruciales para entender la importancia del cambio climático en nuestras vidas diarias. Un aumento de 1.5°C en la temperatura global del planeta

**FIGURA 1**  
Serie de tiempo del aumento de la temperatura global superficial en comparación con la era preindustrial (1850-1900).



## FIGURA 2

Tendencias en (a) la precipitación acumulada de ciclones tropicales ("CT") (mm/año) y (b) los días en que los CT produjeron precipitaciones extremas (días/año) durante el período 1981-2017. Las regiones punteadas indican un nivel de significancia del 95% aplicando la prueba t-student y las regiones rayadas indican el mismo nivel de significancia, pero aplicando la prueba de Mann-Kendall. Imagen tomada de Domínguez et al. (2021).



representa un incremento en la intensidad y duración de los fenómenos meteorológicos extremos, como son: los ciclones tropicales, las inundaciones, las olas de calor, las sequías extremas y los incendios. Las olas de calor representan un riesgo para la salud pública porque causan deshidratación, golpes de calor y un aumento en las hospitalizaciones por enfermedades gastrointestinales. Los incendios forestales erosionan el suelo y hacen que pierda su composición biótica y abiótica. Las sequías extremas se traducen en menor disponibilidad de agua, una mayor erosión del suelo, incrementando la desertificación, e incluso están ligadas con las olas de calor. Adicionalmente, el aumento de 1.5°C podría afectar a varios ecosistemas, haciéndolos perder su biodiversidad. La seguridad alimentaria del país también está comprometida porque varios cultivos podrían ser intolerantes a estos aumentos de temperatura. (Figura 1).

Los ciclones tropicales son fenómenos hidrometeorológicos que tienen vientos violentos y precipitaciones intensas. La escala Saffir-Simpson, escala creada en EUA en la década de 1970, clasifica a los ciclones tropicales de acuerdo con sus vientos superficiales en: depresiones tropicales (vientos menores a 63 km/h), tormentas tropicales (64 km/h – 118 km/h) y huracanes categoría 1 hasta la 5 (vientos que van desde los 119 km/h hasta más de 252 km/h). Los peligros que pueden inducir los ciclones tropicales son la marea de tormenta, los vientos violentos, las inundaciones, los deslizamientos de ladera y el desbordamiento de

presas y ríos. Estos fenómenos hidrometeorológicos han afectado ambas costas de México desde tiempos prehispánicos. Por ejemplo, la cultura maya menciona en su mitología que el dios Huracán fue quien separó el mar de la tierra en el principio de los tiempos. Actualmente, los ciclones tropicales han incrementado su peligrosidad. La tendencia de la lluvia extrema producida por los ciclones tropicales está aumentando en el noroeste y sur del país (Domínguez et al., 2021).

Los desastres asociados a estos fenómenos representan mayores pérdidas económicas en las décadas recientes, y en parte, están asociados con el cambio climático (Domínguez Sarmiento, 2022). Para muestra un ejemplo, el huracán Otis 2023 que afectó las costas de Acapulco ocasionó la pérdida cuantiosa de \$15,000 millones de dólares. Recordemos que los desastres no son naturales, son una construcción social que depende de cómo la sociedad afronta los fenómenos naturales, como: los ciclones tropicales, las sequías, las olas de calor, etc. Si el aumento de la temperatura global es inminente, ¿qué hará México para afrontar fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos?

La Agenda 2030 menciona en su Objetivo 13 "Acción por el clima," que las personas deben contar con la información necesaria para hacer frente a los fenómenos hidrometeorológicos. De acuerdo con esta agenda, la resiliencia y la adaptación al cambio climático son la clave para que existan sociedades sostenibles. La adaptación al cambio climático consiste en realizar modificaciones

en los sistemas ecológicos, sociales o económicos para reducir los impactos negativos del cambio climático sobre las comunidades, así como prepararse para los posibles cambios futuros (INECC-SEMARNAT, 2012). De esta forma, la adaptación busca que las comunidades ejecuten acciones para hacer frente a los impactos ya existentes del cambio climático y se preparen para los impactos futuros. Estas adaptaciones se deben abordar de manera integral, considerando el conocimiento local, así como el papel de personas y organizaciones de la sociedad civil (INECC-SEMARNAT, 2012). México enfrenta riesgos importantes debido a eventos climáticos extremos, como los fenómenos hidrometeorológicos extremos mencionados anteriormente. Por lo tanto, es crucial que la adaptación al cambio climático sea una prioridad para el país. En México, la Ley General de Cambio Climático (LGCC, 2012) desempeña un papel crucial como guía en la política nacional de adaptación al cambio climático. Esta legislación establece que la política para la adaptación al cambio climático debe buscar identificar la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación de los sistemas ecológicos, físicos y sociales, así como aprovechar oportunidades que brindan las nuevas condiciones climáticas. Además, se debe buscar disminuir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas, fortaleciendo al mismo tiempo la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos.

Por su parte, el Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastre (2015-2030) va de la mano con el

Acuerdo de París y la Agenda 2030. El Marco de Sendai establece en sus objetivos que la preparación ante el desastre debe aumentar para tener una respuesta efectiva y reducir así los impactos de los fenómenos naturales. El Marco reconoce que la preparación ante los desastres debe ser una responsabilidad compartida entre los gobiernos en sus diferentes niveles, el sector privado (como la industria hotelera) y las comunidades. En este sentido, los sistemas de alerta temprana surgen como una herramienta de coordinación entre la población y el gobierno para enfrentar los fenómenos naturales. Su principal objetivo es comunicar el nivel de peligrosidad que tienen estos fenómenos con la finalidad de salvaguardar la vida humana. Tanto la Agenda 2030, como el Marco de Sendai, señalan que las sociedades deben ser sostenibles y resilientes ante los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

México creó el Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT) en el año 2000, el cual ha funcionado hasta nuestros días con sus limitaciones, siendo un ejemplo de adaptación al cambio climático. El SIAT-CT surgió principalmente de las inundaciones que ocurrieron en 1999 y que dejaron un registro de 400 personas fallecidas debido a la depresión tropical 11 que afectó el norte de Veracruz (Dominguez Sarmiento, 2022). Los alertamientos del SIAT-CT están representados por colores que significan diferentes niveles de peligrosidad: azul (mínimo), verde (bajo), amarillo (moderado), naranja



El incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera ha modificado el clima, ocasionando que los fenómenos hidrometeorológicos extremos se intensifiquen. Este cambio en su intensidad ha ocasionado que México se enfrente cada vez más a desastres asociados a estos fenómenos y a cuantiosas pérdidas económicas en las recientes décadas. El país debe fortalecer su SIAT-CT como una forma de prevenir y reducir los daños asociados a los fenómenos hidrometeorológicos, considerando diversas amenazas al mismo tiempo, con la finalidad de lograr la resiliencia.

(alto) y rojo (máximo). El SIAT-CT sólo considera en su definición de peligrosidad y activación de alertamientos a los vientos superficiales que tienen los ciclones tropicales, prestándole más atención a los huracanes categoría 3, 4 y 5. El SIAT-CT no considera en su definición de peligrosidad otros peligros asociados a los CT, como son: las inundaciones, los deslizamientos de ladera y las mareas de tormenta inducidas por los vientos. Principalmente, las depresiones y tormentas tropicales pasan desapercibidas por el SIAT-CT, porque sus vientos no son intensos. Sin embargo, pueden ser muy peligrosas por las inundaciones y los deslizamientos que ocasionan, produciendo decesos y pérdidas económicas grandes cuando afectan al territorio mexicano. Por ejemplo, los CT "Manuel" e "Ingrid" 2013 causaron el deceso de 157 personas cuando ambos CT eran tormentas tropicales que afectaban el país. Otro ejemplo fueron los alertamientos emitidos para "Cristóbal", 2020, del 1 al 4 de junio. Varios municipios de Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo tuvieron caída de rocas, deslizamientos de laderas e inundaciones. También, fallecieron 5 personas por las inundaciones que se produjeron en estos estados.

En este sentido, el país necesita un fortalecimiento del SIAT-CT con la finalidad de responder de mejor manera a los ciclones tropicales que cada vez son más amenazantes, no sólo en términos de vientos, también de lluvias (y consecuentemente, inundaciones y deslizamientos).

El SIAT-CT debe evolucionar a ser un sistema multiamenaza, que considere varias amenazas al mismo tiempo además del viento. Su fortalecimiento significará que el país se está adaptando a ciclones tropicales cada vez más extremos bajo un clima cambiante y que estaremos creando sociedades cada vez más resilientes ante estos fenómenos.



## Referencias

- Copernicus Climate Change Service (2023). 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit. Disponible en: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>
- Domínguez C., Jaramillo A., Cuéllar P. (2021). Are the socioeconomic impacts associated with tropical cyclones in Mexico exacerbated by local vulnerability and ENSO conditions? *International Journal of Climatology*. 41 (Suppl. 1): E3307–E3324. <https://doi.org/10.1002/joc.6927>
- Domínguez Sarmiento C. (2022). "La actividad ciclónica tropical en México: peligros y riesgos hidrometeorológicos asociados". Colección Riesgo y Sociedad, Volumen 1. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Desarrollo Institucional. CDMX, México. 45 pp. LIBRUNAM 2173516 (libro electrónico). ISBN: 978-607-30-6845-1. <https://doi.org/10.22201/sdi.9786073068451e.2022>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-SEMARNAT) (2012). Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.
- Ley General de Cambio Climático (6/junio/2012). En Diario Oficial de la Federación. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Pérez-Estrada, A. (2022). El papel del tamaño de los ciclones tropicales en la precipitación en México. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: [https://tesiumam.dgb.unam.mx/F/UPL8SSCT6HS71JCGVYKYFJ4UANG81Q4KKECXFYFH9HLLP6BKFUP-28169?func=full-set-set&set\\_number=954859&set\\_entry=000001&format=999](https://tesiumam.dgb.unam.mx/F/UPL8SSCT6HS71JCGVYKYFJ4UANG81Q4KKECXFYFH9HLLP6BKFUP-28169?func=full-set-set&set_number=954859&set_entry=000001&format=999)