

# Cambio climático, salud y contexto social: un vínculo indisoluble



Enrique Sánchez Salinas | María Luisa Castrejón Godínez  
Ma. Laura Ortiz Hernández | Efraín Tovar Sánchez  
(editores)

Cambio climático, salud y contexto social : un vínculo indisoluble / Enrique Sánchez Salinas, Ma. Laura Ortiz Hernández, María Luisa Castrejón Godínez, Efraín Tovar Sánchez, (editores). - - Primera edición. - - México : Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2024.

186 páginas : ilustraciones

“Cátedra UNESCO denominada Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.” - Reverso de la cubierta

ISBN 978-607-8951-50-5

1. Cambios climáticos 2. Salud pública – Aspectos ambientales

LCC QC903

DC 551.6

Esta publicación fue dictaminada por pares académicos bajo la modalidad doble ciego.

*Cambio climático, salud y contexto social: un vínculo indisoluble*  
Primera edición, julio 2024

D.R. 2024, Enrique Sánchez Salinas, Ma. Laura Ortiz Hernández,  
María Luisa Castrejón Godínez y Efraín Tovar Sánchez (editores)

D.R. 2024, Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
Av. Universidad 1001, col. Chamilpa, C.P. 62209,  
Cuernavaca, Morelos  
publicaciones@uaem.mx  
libros.uaem.mx

Corrección de estilo y formación: Eliezer Cuesta Gómez  
Diseño de portada: Julio César Saavedra Genis

ISBN: 978-607-8951-50-5

DOI: 10.30973/2024/cambio\_climatico\_salud



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Licencia Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

Hecho en México

## Contenido

Prólogo	5
La variabilidad climática: evidencias y consecuencias	
<i>María Luisa Castrejón Godínez</i>	
<i>Alexis Joavany Rodríguez Solís</i>	
<i>Enrique Sánchez Salinas</i>	
<i>Ma. Laura Ortiz Hernández</i>	7
La salud pública en un contexto de cambio climático	
<i>Patricia Mussali Galante</i>	
<i>Efraín Tovar Sánchez</i>	
<i>Ma. Laura Ortiz Hernández</i>	
<i>Enrique Sánchez Salinas</i>	27
Indicadores e índices de salud y cambio climático	
<i>Alexis Joavany Rodríguez Solís</i>	
<i>Enrique Sánchez Salinas</i>	
<i>Ma. Laura Ortiz Hernández</i>	
<i>Maria Luisa Castrejón Godínez</i>	59
La percepción de riesgo y la actitud hacia el cambio climático	
<i>Gabriel Dorantes Argandar</i>	
<i>Emmanuel Poblete Trujillo</i>	
<i>Josimar Evanivaldo Hernández Torres</i>	97
Educación ambiental, ¿una estrategia para hacer frente al cambio climático?	
<i>Mónica Ramírez López</i>	113

Desarrollo humano en condiciones de cambio climático

*Enrique Sánchez Salinas*

*Ma. Laura Ortiz Hernández*

*María Luisa Castrejón Godínez*

*Alexis Joavany Rodríguez Solís*

145

Sobre los autores

183

# La variabilidad climática: evidencias y consecuencias

María Luisa Castrejón Godínez  
Alexis Joavany Rodríguez Solís  
Enrique Sánchez Salinas  
Ma. Laura Ortiz Hernández

## Variabilidad climática

La variabilidad climática hace referencia a las oscilaciones de los componentes del clima como la temperatura y las precipitaciones, entre otros, que pueden ocurrir durante períodos cortos y se expresa mediante la valoración de las anomalías, la cual se obtiene de la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio (Melo et al., 2018). Esta también refiere a otras características estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede atribuirse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (Grove, 2021; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007; Thornton et al., 2014).

La variabilidad climática ocurre debido a factores naturales como erupciones volcánicas, variaciones en la órbita de la Tierra alrededor del Sol, entre otros, así como por factores antropogénicos: debido a la emisión de gases de efecto invernadero por el desarrollo de las actividades humanas, ocasionando impactos económicos, sociales y ambientales. Sánchez-Cohen et al. (2008) señalan que diferentes modelos matemáticos han mostrado que duplicar la cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera provocará un incremento en la temperatura global de entre 2 °C y 5 °C para los años 2030 y 2060. Además, los cambios en los patrones de precipitación afectan directamente a procesos productivos como la agricultura.

Se han reportado diferentes escalas de la variabilidad climática como la estacional, que corresponde a fluctuaciones climáticas a nivel mensual, y la intraestacional, la cual presenta dentro de las estaciones perturbaciones que determinan las condiciones de tiempo durante doce días. Con respecto a la escala interanual, esta corresponde a cambios en las variables climáticas cada año, y en la interdecadal, se presentan fluctuaciones climáticas que ocurren a lo largo de décadas (Berrío & Echeverri, 2020; Montealegre, 2009; Sánchez et al., 2020).

La variabilidad climática es un tema importante en la actualidad y existen diferentes enfoques de investigación a nivel internacional, como el análisis de tendencias crecientes y decrecientes en la temperatura y la precipitación, la disminución de hielo y nieve, procesos oceánicos y atmosféricos, la variabilidad climática asociada con el monzón de Asia oriental, los ciclones tropicales, lluvias y fenómenos meteorológicos extremos. Las investigaciones muestran que la variabilidad climática es la base para el desarrollo de políticas públicas e influye en el desempeño económico de una nación (Sánchez et al., 2020).

## **Consecuencias de la variabilidad climática y el cambio climático**

La variabilidad climática presenta diversas consecuencias, tanto en el ambiente como en la salud humana. Desde que el planeta existe hace 4500 millones de años ha sufrido diversos cambios climáticos a lo largo de la historia, experimentando períodos de calentamiento y enfriamiento que han durado millones de años (Claudino-Sales, 2020; Scotese, 2015; Scott & Lindsey, 2020). En los últimos tiempos, las alteraciones observadas en el clima, sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX, tienen una fuerte correlación con el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de las actividades humanas (Bindoff et al., 2013; Easterling et al., 2016; Hegerl et al., 2019).

Algunos fenómenos generados por la variabilidad climática son el ciclo El Niño el cual es un fenómeno natural que se genera en el Pacífico tropical y se presenta con un aumento en la temperatura de la superficie del mar. Este patrón climático ocurre cada dos o siete años y puede presentar una duración que va de nueve meses a dos años. Los principales impactos que genera son: disminución

de las precipitaciones o intensas lluvias ocasionando deslizamientos del suelo, incremento de enfermedades, pérdidas agrícolas y pesqueras. Por otro lado, el fenómeno de La Niña origina una reducción de la temperatura de la superficie del mar, es la fase fría, que también se presenta en el Pacífico tropical y genera impactos negativos como sequías, inundaciones, deslizamientos del suelo, fenómenos meteorológicos extremos que causan tormentas y ciclones, daños en la infraestructura, afectaciones en el sector eléctrico y de salud humana, pérdidas agrícolas, ganaderas y económicas en general. Tanto el fenómeno de El Niño como de La Niña se pueden medir por la temperatura superficial del mar, los vientos alisios en El Niño soplan del este al oeste y en La Niña se fortalecen y empujan las aguas cálidas de la superficie hacia el oeste del Pacífico, también se puede medir a través de las precipitaciones, la observación de patrones climáticos (Almeida et al., 2020; Berhane & Tesfay, 2020; Montoya-Moreno et al., 2019; Riza & Minani, 2021; Salinger, 2005).

Otro ejemplo de variabilidad climática es el ciclo diurno de temperatura el cual se refiere a la variación diaria de la temperatura durante el día en la Tierra debido a la rotación terrestre. Cada mañana a medida que el Sol calienta la Tierra, la capa de aire cerca de la superficie se calienta y durante el atardecer disminuye la temperatura, por lo cual pueden alcanzar temperaturas de 35 °C en algunas partes del mundo y luego descender a temperaturas por debajo de los 28 °C (Chen et al., 2020; Poveda et al., 2001).

Por otro lado, la oscilación de Madden-Julian es un tipo de variabilidad climática intraestacional que se refiere a ondas de baja presión que viajan alrededor del mundo durante un periodo de 30 a 60 días en los trópicos. Estas ondas afectan tanto el océano como a la atmósfera. Su principal efecto en el océano son los cambios de temperatura superficial, y en la atmósfera contribuye al desarrollo de tormentas que afectan la agricultura y los recursos hídricos, generan inundaciones, deslizamientos del suelo, entre otros efectos. Se han utilizado varios métodos para predecir la oscilación de Madden-Julian a través de modelos de predicción numérica, observaciones satelitales meteorológicos y el análisis de patrones climáticos (Tedesco, 2018; Torres-Pineda & Pabón-Caicedo, 2017; Zhang, 2013; Zhang, Adames et al., 2020a).

Otro ejemplo de variabilidad climática es el evento de la oscilación cuasibienal, que es una oscilación cuasiperiódica de los vientos ecuatoriales estratosféricos tropicales con un período de aproximadamente 28 meses. Durante la oscilación cuasibienal la dirección del viento estratosférico tropical cambia, alternando entre vientos del oeste en invierno y vientos del este en verano a una altitud de 30 km. Además, puede tener efectos en la circulación atmosférica, tanto en la estratosfera como en la troposfera, y se ha demostrado que está relacionada con variaciones en la temperatura de la superficie del mar, la presión atmosférica y las precipitaciones. También se ha demostrado que la oscilación cuasibienal afecta a los afluentes de algunos embalses, sectores económicos y sociales (Riveros-Zarate et al., 2020).

Por su parte, el cambio climático representa uno de los principales retos de la humanidad debido a que no solo afecta a los sistemas físicos del planeta, sino que sus consecuencias también alcanzan a los sistemas biológicos y humanos (IPCC, 2014a; Malhi et al., 2021). Las consecuencias del cambio climático son múltiples, algunas de las principales consecuencias son: incremento de la temperatura global, deshielo de las capas glaciares terrestres, el aumento del nivel del mar, el incremento de eventos climáticos extremos, cambio en el comportamiento de algunas especies y amenazas a la biodiversidad, impactos negativos sobre la salud humana, animal y vegetal, así como impactos sobre los sistemas de producción agrícola (IPCC, 2014a). Estas consecuencias se describen a continuación:

### **Incremento de la temperatura global**

Desde finales del siglo XIX, la temperatura de la Tierra ha aumentado  $1.2^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ . La temperatura se ha incrementado durante un periodo corto; desde 1850, los últimos 30 años han sido más cálidos que la década anterior, y los 30 años comprendidos entre 1983-2012 están registrados como el período más cálido de los últimos 800 años en el hemisferio norte. Las estimaciones del incremento de la temperatura global en todos los escenarios evaluados predicen que la temperatura global continuará aumentando. De acuerdo con la

Organización Meteorológica Mundial, existe un 20 % de probabilidad de que las temperaturas superen los 1.5 °C en 2024 (Ge et al., 2017; IPCC, 2014a; Kišš et al., 2022; Scott, 2021).

## Deshielos

Dado el aumento de la temperatura global, las capas de hielo y nieve de la superficie terrestre están disminuyendo en su extensión, como consecuencia del deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares (Heshmati, 2021; IPCC, 2007). En ambos hemisferios terrestres los glaciares de las montañas y la capa de nieve han disminuido en promedio y, en consecuencia, algunos sistemas hidrológicos, principalmente ríos alimentados por glaciares y la capa de nieve, también se han visto afectados (IPCC, 2007; Su et al., 2022; Zhang et al., 2020b). La disminución observada en la cobertura de los glaciares desde 1960 ha provocado un aumento del derretimiento de Groenlandia desde 1993 y la pérdida del hielo marino del Ártico desde 1979, lo que ha ocasionado un aumento en la temperatura de la superficie marina y del nivel del mar (IPCC, 2014a).

## Incremento del nivel del mar

Como efecto del cambio climático, desde 1961 el nivel del mar mundial ha aumentado en promedio  $1.8 \pm 0.5$  mm por año; sin embargo, esta tasa de aumento se ha acelerado a un promedio de  $3.1 \pm 0.7$  mm por año desde 1993 (IPCC, 2007). Durante el periodo comprendido entre los años 1901-2010 el nivel medio global del mar aumentó  $0.19 \pm 0.02$  m y los sistemas costeros y las zonas bajas constituyen zonas de alto riesgo por el aumento del nivel del mar (IPCC, 2014a). De acuerdo con diversos escenarios, se estima que el nivel del mar aumente entre 0.4 y 1.5 m para 2100, lo que provocará la desaparición de determinadas islas, inundaciones, desplazamientos de población, amenazas a la biodiversidad, entre otras consecuencias (Heshmati, 2021).

## **Eventos climáticos extremos**

La magnitud y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos están relacionados con el incremento de gases de efecto invernadero y la variabilidad climática natural (Easterling , Kunkel et al., 2016; Hartmann et al., 2013; Stott, 2016). El incremento en la incidencia e intensidad de los eventos climáticos extremos representa un gran impacto sobre la sociedad y el ambiente. En los últimos años se han presentado diferentes eventos climáticos extremos que han causado graves pérdidas materiales, económicas y humanas (Easterling, Meehl et al., 2000; Easterling, Kunkel et al., 2016; Heshmati, 2021). Entre los principales eventos climáticos extremos destacan las modificaciones en los patrones de precipitación y temperatura, las cuales provocan inundaciones, sequías, tormentas tropicales y huracanes, heladas u olas de calor (Alexander, 2016; Alexander et al., 2006; Ebi et al., 2021; Herring et al., 2014).

## **Cambio en el comportamiento de algunas especies y amenazas a la biodiversidad**

El cambio climático, principalmente el aumento de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación afecta a las especies y los ecosistemas. Se estima que este fenómeno podría convertirse en una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad en el mundo en los próximos años (Habibullah et al., 2022; Sala et al., 2000; Thomas et al., 2004; Weiskopf et al., 2020). Estos impactos incluyen cambios en la distribución de las especies, en sus ciclos de vida, el desacoplamiento de las relaciones coevolutivas de las especies, efectos sobre la supervivencia y la fecundidad de los individuos, reducciones en el tamaño de la población, pérdida o fragmentación del hábitat e incremento de especies invasoras de animales, plantas y patógenos que conducen a la extinción masiva de especies (Araújo & Rahbek, 2006; Mawdsley et al., 2009; McCarty, 2001).

Por las razones mencionadas anteriormente, el cambio climático plantea un enorme desafío para la conservación de la biodiversidad, por lo que es necesario

adaptar los programas de conservación de la biodiversidad a un contexto de cambio climático (Farooqi et al., 2022; Hampe & Petit, 2005; Heller & Zavaleta, 2009), con soluciones que coincidan con la escala temporal, espacial y funcional de este desafío (Pettorelli et al. 2021).

## **Salud**

El cambio climático es una amenaza indiscutible para la salud humana y los patrones de transmisión de enfermedades (Epstein, 2001), especialmente para las sociedades que presentan altos índices de desigualdad social, incertidumbre política y económica, además de un torrente de desafíos ambientales simultáneos (Robbins Schug et al., 2023). Los fenómenos climáticos extremos, como olas de calor, tormentas, lluvias intensas, inundaciones o sequías, amenazan la salud humana y aumentan la mortalidad y morbilidad donde ocurren (Ebi & Bowen, 2016; McMichael et al., 2006; Salvador et al., 2023).

Por otro lado, las enfermedades infecciosas presentan ciclos estacionales marcados, sin embargo, el aumento de la temperatura global puede incrementar su incidencia y facilitar su expansión geográfica (Haines et al., 2006; Zell, 2004). Bacterias relacionadas con cuadros diarreicos como *Salmonella spp.* y *Vibrio cholerae* proliferan más rápidamente en temperaturas cálidas; además, los ciclos reproductivos y la supervivencia de mosquitos, garrapatas y otros organismos que actúan como vectores para agentes infecciosos como protozoarios, bacterias o virus se favorecen con el aumento de la temperatura (Orimoloye et al., 2019; Patz, 2005; Thornton et al., 2014). La incidencia de enfermedades respiratorias no transmisibles como el asma y alergias puede incrementarse debido a la contaminación del aire y a la presencia de mayores concentraciones de alérgenos como el polen y el moho (Ayres et al., 2009; D'Amato et al., 2014).

La Organización Mundial de la Salud identifica como los principales determinantes de salud afectados por el cambio climático a la calidad del aire, el acceso a agua potable, el abastecimiento de alimentos y las condiciones de la vivienda. Lo anterior tendrá grandes impactos a futuro. Se estima que entre 2030 y 2050 el cambio climático causará alrededor de 250 000 muertes anuales adicionales

por desnutrición, malaria, diarrea o golpes de calor, que representarán un costo adicional al sector salud de 2 a 4 billones de dólares para 2030 (WHO, 2014).

## **Sistemas de producción agrícola**

El sector agrícola es un sector complejo y más vulnerable que se ve afectado por diferentes parámetros climáticos, provocando impactos económicos y sociales (Malhi et al., 2021; Smith, 2007). Los efectos del cambio climático amenazan directamente la seguridad alimentaria de la humanidad y los sistemas globales de producción agrícola (Skendžić et al., 2021). El aumento de la temperatura media de las diferentes estaciones y la alteración del ciclo hidrológico pueden provocar una reducción en la disponibilidad de agua, un aumento de las necesidades de irrigación, una disminución del rendimiento de los cultivos y, en consecuencia de lo anterior, un aumento en el costo de los productos agrícolas. Además, la incidencia de plagas y enfermedades es mayor (Adams et al., 1990; Chen, Chen, & Xu, 2016; Malhi et al., 2021; Porter et al., 2014).

La adaptación es clave para garantizar la seguridad alimentaria global en el contexto del cambio climático. Algunas alternativas para la adaptación de los sistemas de producción agrícola incluyen cambios en las temporadas de cultivo o en las variedades de las plantas de cultivo, significando costos relativamente bajos. Sin embargo, se esperan mayores beneficios con la implementación y desarrollo de nuevas variedades de cultivos o la expansión de los sistemas de irrigación (Lobell et al., 2008). Los impactos y consecuencias del cambio climático continuarán observándose en los próximos años y podrían intensificarse si no se toman medidas de mitigación (Olivo & Soto, 2010).

## **Consideraciones finales**

La variabilidad climática es una amenaza global que ha puesto en crisis la sostenibilidad de diversos sectores. La vulnerabilidad de amplias regiones agrícolas genera un escenario preocupante a nivel mundial, ya que la producción y suministro de alimentos suficientes están amenazados. El riesgo a la integridad y la

supervivencia de muchas especies es una consecuencia del rápido cambio de las estructuras de los ecosistemas. Las fluctuaciones climáticas incrementan el resurgimiento de enfermedades emergentes o reemergentes. Además, la industria turística mundial está devastada a medida que el cambio climático afecta a los lugares turísticos desfavorables (Abbass et al., 2022).

Esta crítica situación y la mayor conciencia pública en los últimos años han llevado a diversos países a tomar medidas para reducir los diversos impactos negativos en diferente medida (Cifuentes-Faura, 2022). Sin embargo, estos esfuerzos son mínimos y ante el desolador panorama es necesaria una participación más amplia y comprometida de todos los estados miembros para alcanzar economías con emisiones netas de carbono (solo el 4.5 % de los países han alcanzado la neutralidad de carbono) (Chen, Msigwa et al., 2022).

No obstante, la tarea no será fácil ante el aumento de la polarización ideológica observada durante la Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2021 (COP26), luego de una baja polarización entre la COP20 y COP25. Dado que la acción climática futura depende de las negociaciones en la COP y más allá, resulta importante despolitizar los acuerdos para alcanzar las metas acordadas y mantener un discurso público homogéneo sobre el clima a nivel global (Falkenberg et al., 2022).

## Referencias

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Adams, R. M., Rosenzweig, C., Peart, R. M., Ritchie, J. T., McCarl, B. A., Glyer, J. D., Curry, R. B., Jones, L. W., Boote, K. J., & Allen Jr, L. H. (1990). Global climate change and US agriculture. *Nature*, 345(6272), 219-224. <https://doi.org/10.1038/345219a0>

- Alexander, L. V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4-16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., ... Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5). <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Almeida, S. K., Souza, R. G. de, Borges, V. T. T., & Silva, C. M. J. R. da. (2020). Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 1019-1029. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03039-9>
- Araújo, M. B., & Rahbek, C. (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science*, 313(5792), 1396-1397. <https://doi.org/10.1126/science.1131758>
- Ayres, J. G., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Dey, R., Ebi, K. L., Helms, P. J., Medina-Ramón, M., Windt, M., & Forastiere, F. (2009). Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *European Respiratory Journal*, 34(2), 295-302. <https://doi.org/10.1183/09031936.00003409>
- Berhane, A., & Tesfay, T. (2020). *Impact of El Niño and La Niña on Agriculture in Ethiopia: Implications for El Niño and La Niña Adaptation and Food Security in Ethiopia*.
- Berrío, M. J. A., & Echeverri, O. L. A. (2020). *Efectos de la variabilidad climática en la producción de café en el municipio de Betania: Alternativas de adaptación para su manejo* [Tesis de especialidad, Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/21318>
- Bindoff, N. L., Stott, P. A., AchutaRao, K. M., Allen, M. R., Gillett, N., Gutzler, D., Hansingo, K., Hegerl, G., Hu, Y., Jain, S., Mokhov, I. I., Overland, J., Perlitz, J., Sebbari R., & Zhang, R. (2013). Detection and attribution of

- climate change: from global to regional. En T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change: The Physical Science Basis* (pp. 867-952). Cambridge University Press.
- Chen, G., Wang, D., Wang, Q., Li, Y., Wang, X., Hang, J., Gao, P., Ou, C. & Wang, K. (2020). Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models with various aspect ratios and thermal storage. *Science of The Total Environment*, 726, 138147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138147>
- Chen, L., Msigwa, G., Yang, M., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2022). Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2277-2310. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>
- Chen, S., Chen, X., & Xu, J. (2016). Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 76, 105-124. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005>
- Cifuentes-Faura, J. (2022). European Union policies and their role in combating climate change over the years. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 15(8), 1333-1340. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01156-5>
- Claudino-Sales, V. (2020). The urgency of the anthropocene. *Northeast Geosciences Journal*, 6(2), 213-221.
- D'Amato, G., Cecchi, L., D'Amato, M., & Annesi-Maesano, I. (2014). Climate change and respiratory diseases. *European Respiratory Review*, 23(132), 161-169. <https://doi.org/10.1183/09059180.00001714>
- Easterling, D. R., Kunkel, K. E., Wehner, M. F., & Sun, L. (2016). Detection and attribution of climate extremes in the observed record. *Weather and Climate Extremes*, 11, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.01.001>
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>

- Ebi, K. L., & Bowen, K. (2016). Extreme events as sources of health vulnerability: Drought as an example. *Weather and Climate Extremes*, 11, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.001>
- Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., Hayes, K., Reid, C. E., Saha, S., Spector, J., & Berry, P. (2021). Extreme weather and climate change: population health and health system implications. *Annual Review of Public Health*, 42(1), 293-315. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>
- Epstein, P. R. (2001). Climate change and emerging infectious diseases. *Microbes and infection*, 3(9), 747-754. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(01\)01429-0](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(01)01429-0)
- Falkenberg, M., Galeazzi, A., Torricelli, M., Di Marco, N., Larosa, F., Sas, M., Mekacher, A., Pearce, W., Zollo, F., Quattrociocchi W., & Baronchelli, A. (2022). Growing polarization around climate change on social media. *Nature Climate Change*, 12(12), 1114-1121. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01527-x>
- Farooqi, T. J. A., Irfan, M., Portela, R., Zhou, X., Shulin, P., & Ali, A. (2022). Global progress in climate change and biodiversity conservation research. *Global Ecology and Conservation*, 38, e02272. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02272>
- Ge, Q., Liu, H., Ma, X., Zheng, J., & Hao, Z. (2017). Characteristics of temperature change in China over the last 2000 years and spatial patterns of dryness/wetness during cold and warm periods. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34, 941-951. <https://doi.org/10.1007/s00376-017-6238-8>
- Grove, M. (2021). Climatic change and climatic variability: An objective decomposition. *Quaternary Science Reviews*, 271, 107196. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107196>
- Habibullah, M. S., Din, B. H., Tan, S. H., & Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 1073-1086. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>

- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalán, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. *Public Health*, 120(7), 585-596. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002>
- Hampe, A., & Petit, R. J. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology letters*, 8(5), 461-467. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00739.x>
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., & Zhai, P. (2013). Observations: Atmosphere and surface. En T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013 the Physical Science Basis* (pp. 159-254). Cambridge University Press.
- Hegerl, G. C., Brönnimann, S., Cowan, T., Friedman, A. R., Hawkins, E., Iles, C., Müller, W., Schurer, A., & Undorf, S. (2019). Causes of climate change over the historical record. *Environmental Research Letters*, 14(12), 123006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4557>
- Heller, N. E., & Zavaleta, E. S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142(1), 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- Herring, S. C., Hoerling, M. P., Peterson, T. C., & Stott, P. A. (Eds.). (2014). Explaining extreme events of 2013 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(9), S1-S97.
- Heshmati, E. M. (2021). Impact of climate change on life. *Environmental issues and sustainable development*, 1-20.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R. K. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.). IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014a). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto*

- informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* R. K. Pachauri y L. A. Meyer (Eds.). IPCC.
- Kišš, V., Pagáč, J., Tárník, A., & Čimo, J. (2022). Changes in Vegetation Period Length in Slovakia under the Conditions of Climate Change for 1931–2110. *Sustainability*, 14(19), 12220. <https://doi.org/10.3390/su141912220>
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610. <https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Mawdsley, J. R., O'Malley, R., & Ojima, D. S. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 23(5), 1080-1089. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x>
- McCarty, J. P. (2001). Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, 15(2), 320-331. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367(9513), 859-869. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
- Melo, F. J., Ruiz, J., Pabón, J., Sánchez, I., & Guzmán, D. (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. IDEAM-UNAL. <https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad.pdf>
- Montealegre, B. J. E. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala* (Informe final Núm. IDEAM022-2009). Instituto de Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales, IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+de+la+pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>

- Montoya-Moreno, Y., Patiño Zapata, E. Y., Ramírez Arango, E., & Yepes Osorio, E. R. (2019). Calidad biológica y fisicoquímica de tres fuentes de agua y su relación con el fenómeno de El Niño y La Niña. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1328>
- Olivo, M. D. L., & Soto-Olivo, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 14(57), 221-230.
- Orimoloye, I. R., Mazinyo, S. P., Kalumba, A. M., Ekundayo, O. Y., & Nel, W. (2019). Implications of climate variability and change on urban and human health: A review. *Cities*, 91, 213-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.009>
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310-317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
- Pettorelli, N., Graham, N. A., Seddon, N., Maria da Cunha Bustamante, M., Lowton, M. J., Sutherland, W. J., Koldewey, H. J., Prentice, H. C., & Barlow, J. (2021). Time to integrate global climate change and biodiversity science-policy agendas. *Journal of Applied Ecology*, 58(11), 2384-2393. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13985>
- Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobel, D. B., & Travasso, M. I. (2014). Food security and food production systems. En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects* (pp. 485-533). Cambridge University Press.
- Poveda, G., Moreno, H. A., Vieira, S. C., Agudelo, P., Arias, P. A., Salazar, L. F., Mesa, O. J., Alvarez, F., Toro, V., Jaramillo, A., & Guzmán, O. (2001). Caracterización del ciclo diurno de la precipitación en los Andes tropicales

de Colombia. En *Proceedings of the Memorias IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires*.

- Riveros-Zarate, Z. C., Yustres-Quintero, L. F., & Ivanova, Y. (2020). Efecto del fenómeno de la Oscilación Cuasi-Bienal en los afluentes del embalse de Betania. *Revista EIA*, 17(34), 32-40. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1246>
- Riza, M. H., & Minani, N. (2021). The Effect of El Nino and La Nina on the Intensity of Determining Qibla Direction. *Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy*, 3(1), 55-74. <https://doi.org/10.21580/al-hilal.2021.3.1.7663>
- Robbins Schug, G., Buikstra, J. E., DeWitte, S. N., Baker, B. J., Berger, E., Buzon, M. R., Davies-Barrett, A. M., Goldstein, L., Grauer, A. L., Gregoricka, L. A., Halcrow, S. E., Knudson, K. J., Larsen, C. S., Martin, D. L., Nystrom, K. C., Perry, M. A., Roberts, C. A., Santos, A. L., Stojanowski, C. M., Suby, J. A., Temple, D. H., Tung, T. A., Vlok, M., Watson-Glen, T., & Zakrzewski, S. R. (2023). Climate change, human health, and resilience in the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(4), e2209472120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2209472120>
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Salinger, M. J. (2005). Climate variability and change: past, present and future—an overview. *Climatic Change*, 70(1-2), 9-29. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5936-x>
- Salvador, C., Nieto, R., Vicente-Serrano, S. M., García-Herrera, R., Gimeno, L., & Vicedo-Cabrera, A. M. (2023). *Public health implications of Drought in a Climate change context: A Critical Review*. *Annual Review of Public Health*, 44, 213-232. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-071421-051636>

- Sánchez, J. M., Rodríguez, J. P., & Montenegro, C. E. (2020). La relevancia de la variabilidad climática en la formulación de políticas públicas agrarias en los países tropicales. *Revista Espacios*, 41(08), 11.
- Sánchez-Cohen, I., Díaz-Padilla, G., Ojeda-Bustamante, W., Chehbouni, A., Orona Castillo, I., Villanueva Díaz, J., González-Barrios J. L., & González Cervantes, G. (2008). Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. *Ingeniería hidráulica en México*, 23(4), 5-24.
- Scotese, C. R. (2015). *Some Thoughts on Global Climate Change: The Transition from Icehouse to Hothouse* [Manuscrito inédito]. PALEOMAP Project. [https://www.academia.edu/12082909/Some\\_thoughts\\_on\\_Global\\_Climate\\_Change\\_The\\_Transition\\_from\\_Icehouse\\_to\\_Hothouse](https://www.academia.edu/12082909/Some_thoughts_on_Global_Climate_Change_The_Transition_from_Icehouse_to_Hothouse)
- Scott, D. (2021). Sustainable tourism and the grand challenge of climate change. *Sustainability*, 13(4), 1966. <https://doi.org/10.3390/su13041966>
- Scott, M., & Lindsey, R. (2020). *What's the hottest Earth's ever been?* Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/whats-hottest-earth-s-ever-been>
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., & Sirotenko, O. (2007). Agriculture. En B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, & L. A. Meyer (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation* (pp. 497-540). Cambridge University Press.
- Stott, P. (2016). How climate change affects extreme weather events. *Science*, 352(6293), 1517-1518. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7271>
- Su, B., Xiao, C., Chen, D., Huang, Y., Che, Y., Zhao, H., Zou, M., Guo, R., Wang, X., Li, X., Guo, W., Liu, S., & Yao, T. (2022). Glacier change in China over past decades: Spatiotemporal patterns and influencing factors. *Earth-Science Reviews*, 226, 103926. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103926>

- Tedesco, P. (2018). *Anomalías de circulación atmosférica asociadas a la influencia de la Oscilación de Madden Julian en la pluviometría local* [Trabajo especial de la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera]. Universidad de la República. [http://www.meteorologia.edu.uy/wp-content/uploads/2020/Tesis/TF\\_PaulinaTedesco.pdf](http://www.meteorologia.edu.uy/wp-content/uploads/2020/Tesis/TF_PaulinaTedesco.pdf)
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., Siqueira, M. F. de, Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Jaarsveld, A. S. van, Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Thornton, P. K., Erickson, P. J., Herrero, M., & Challinor, A. J. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global change biology*, 20(11), 3313-3328. <https://doi.org/10.1111/gcb.12581>
- Torres-Pineda, C. E., & Pabón-Caicedo, J. D. (2017). Variabilidad intraestacional de la precipitación en Colombia y su relación con la oscilación de Madden-Julian. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(158), 79-93. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.380>
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morisette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
- World Health Organization. (2014). *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s*. WHO.
- Zell, R. (2004). Global climate change and the emergence/re-emergence of infectious diseases. *International Journal of Medical Microbiology Supplements*, 293(supl. 37), 16-26. [https://doi.org/10.1016/S1433-1128\(04\)80005-6](https://doi.org/10.1016/S1433-1128(04)80005-6)

- Zhang, C. (2013). Madden–Julian oscillation: Bridging weather and climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(12), 1849-1870. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00026.1>
- Zhang, C., Adames, Á. F., Khouider, B., Wang, B., & Yang, D. (2020a). Four theories of the Madden-Julian oscillation. *Reviews of Geophysics*, 58(3), e2019RG000685. <https://doi.org/10.1029/2019RG000685>
- Zhang, Q., Chen, Y., Li, Z., Fang, G., Xiang, Y., Li, Y., & Ji, H. (2020b). Recent changes in water discharge in snow and glacier melt-dominated rivers in the Tianshan Mountains, central Asia. *Remote Sensing*, 12(17), 2704. <https://doi.org/10.3390/rs12172704>