

Puerto Rico's STATE OF THE CLIMATE 2014 – 2021

ASSESSING PUERTO RICO'S
SOCIAL-ECOLOGICAL
VULNERABILITIES IN
A CHANGING CLIMATE

TEMPERATURES



PRECIPITATION



SEA LEVEL



STORMS



OCEAN
ACIDIFICATION



CLIMATE
CHANGE
COUNCIL
PUERTO RICO





Recommended Citation

Puerto Rico Climate Change Council (PRCCC). 2022. Puerto Rico's State of the Climate 2014-2021: Assessing Puerto Rico's Social-Ecological Vulnerabilities in a Changing Climate. Puerto Rico Coastal Zone Management Program, Department of Natural and Environmental Resources, NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management. San Juan, PR.

Disclaimer

The views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily reflect the official views or policies of their respective agencies and institutions.

Puerto Rico Climate Change Council

Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico



WORKING GROUP 1

**Geophysical and
Chemical Scientific
Knowledge**



Recommended Citation

Díaz, E., Terando, A., Gould, W., Bowden, J., Chardón, P., Jury, M., Meléndez, M., and Morell, J. (2022). Working Group 1: Geophysical and Chemical Scientific Knowledge. State of the Climate Report. Puerto Rico Climate Change Council. Díaz, E. Gonzalez, M., and Terando, A. [Eds.]

Disclaimer

The views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily reflect the official views or policies of their respective agencies and institutions. Portions of this report authored by U.S. Geological Survey (USGS) employees have been peer reviewed and approved for publication consistent with USGS Fundamental Science Practices (<https://pubs.usgs.gov/circ/1367/>).

TABLE OF CONTENTS

LIST OF AUTHORS AND CONTRIBUTORS	08
EXECUTIVE SUMMARY	09
RESUMEN EJECUTIVO	12
SECTION 1: OUR WARMING PLANET	15
SECTION 2: PUERTO RICO'S CONTRIBUTION TO GLOBAL CLIMATE CHANGE	16
Greenhouse Gas Emissions	16
Aerosols	17
SECTION 3: EL NIÑO AND OTHER FORMS OF NATURAL CLIMATE VARIABILITY	18
Drivers of natural climate variability	18
El Niño/ Southern Oscillation (ENSO)	18
Other forms of natural variability	20
SECTION 4: OBSERVED AND PROJECTED TEMPERATURE CHANGES IN PUERTO RICO	21
Observed near surface air temperatures and temperature trends in Puerto Rico	21
Projected changes in temperature	
SECTION 5: OBSERVED AND PROJECTED PRECIPITATION CHANGES IN PUERTO RICO	22
Projected changes in precipitation	24
SECTION 6: OBSERVED AND PROJECTED SEA LEVEL RISE IN PUERTO RICO	26
Relative sea level change and projections up to 2100	27
Future Sea Level Rise Projections for Puerto Rico	28
Summary of observed and projected trends for sea level rise	29
SECTION 7: OCEAN ACIDIFICATION AND OTHER OCEAN CHANGES	32
Regional observations of ocean pH and temperature	33
Coastal observations of seawater CO ₂ , pH and temperature	33
Other ocean acidification proxies - coral reefs	34
SECTION 8: TROPICAL CYCLONES	35
REFERENCES	37

EXECUTIVE
SUMMARY

LIST OF AUTHORS AND CONTRIBUTORS

COORDINATOR

Ernesto Díaz¹

EDITORS

Ernesto Díaz¹
Melissa Gonzalez²
Adam Terando^{3,4}

EXECUTIVE SUMMARY

William Gould⁵
Ernesto Díaz¹

SECTION 1: OUR WARMING PLANET

Adam Terando^{3,4}
William Gould⁵

SECTION 2: PUERTO RICO'S CONTRIBUTION TO GLOBAL CLIMATE CHANGE

Adam Terando^{3,4}
William Gould⁵
Mark Jury⁶

SECTION 3: EL NIÑO AND OTHER FORMS OF NATURAL CLIMATE VARIABILITY

Jared Bowden⁷

SECTION 4: OBSERVED AND PROJECTED TEMPERATURE CHANGES IN PUERTO RICO

Adam Terando^{3,4}
Jared Bowden⁷

SECTION 5: OBSERVED AND PROJECTED PRECIPITATION CHANGES IN PUERTO RICO

Jared Bowden⁷
Adam Terando^{3,4}

SECTION 6: OBSERVED AND PROJECTED SEA LEVEL RISE IN PUERTO RICO

Ernesto L. Díaz¹
Patricia Chardón^{6,7}
Technical Reviewers: Aurelio Mercado, William Sweet, Juan González, Mark Osler, Robert Kopp

SECTION 7: OCEAN ACIDIFICATION

Melissa Meléndez⁸
Julio Morell^{6,7}
Technical Reviewers: Dwight Gledhill, NOAA Ocean Acidification Program

SECTION 8: TROPICAL CYCLONES

Jared Bowden⁷
Adam Terando^{3,4}¹ Puerto Rico Climate Change Council Science Coordinator² Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources³ U.S. Geological Survey, Southeast Climate Adaptation Science Center⁴ Department of Applied Ecology, North Carolina State University⁵ USDA Caribbean Climate Hub⁶ University of Puerto Rico, Mayagüez Campus⁷ Caribbean Coastal Ocean Observing System (CARICOOS)⁸ University of Hawai'i at Manoa⁹ NOAA Ocean Acidification Program

The climate of Puerto Rico is influenced by the changing global climate. The following chapters present the current knowledge of the geophysical and chemical drivers and signals of global climate change as they affect the climate of Puerto Rico and influence the climate-dependent services, risks, and vulnerabilities that govern human well-being. These include sustainable economic development, delivery of ecosystem services, the conservation of natural and cultural resources, resiliency in built and natural systems, and food security. The chapters draw on global expertise of land, atmosphere, and ocean geophysical interactions associated with increasing greenhouse gases (GHG) that drive global warming and on local scientific expertise, data, observations, and modeled projections. They present the global warming scenario (section 1), the contribution of Puerto Rico to global climate change as GHG emissions and aerosols (section 2), the context of natural climate variability (section 3), observed and projected trends in temperature (section 4), rainfall (section 5), sea level rise (section 6), ocean acidification and sea surface warming (section 7), and the expected implications of warming climate on tropical cyclones affecting Puerto Rico (section 8).

Global scenario. Heat trapping GHG concentrations have been rising due to human activity for over 170 years, from preindustrial levels of annual average carbon dioxide (CO₂) of about 280 ppm to current (2021) levels of over 411 ppm. Additionally, GHG levels of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) have increased to 1891.6 ppb and 334 ppb, respectively in 2021. Global warming continues because of increased concentrations of GHG, with 7 of the 10 warmest years on record occurring since 2014. The 2020 average global surface temperature was 1.76 °F (0.98 °C) warmer than the twentieth-century average of 57.0 °F (13.9 °C) and 2.14 °F (1.19 °C) warmer than the pre-industrial period (1880-1900). Warming will likely be greater over land surfaces and will likely increase the intensity and frequency of high rainfall events and very dry weather, with implications for both flooding and drought. Projected changes in regional atmospheric circulation, including monsoons and mid-latitude storm tracks will influence regional rainfall trends and the location and frequency of extreme events. Thermal expansion of oceans and decreasing ice caps have led to a mean sea level rise of 0.20 m between 1901 and 2018, with rates increasing from 1.3 mm/yr between 1901 and 1971 to 3.7 mm/yr between 2006 and 2018. Anthropogenic increase of atmospheric CO₂ has altered the upper ocean's pH and heat content. Surface pH has declined globally causing reductions in the saturation state of calcium carbonate and affecting a variety of marine organisms and ecosystems.

Mitigation. Puerto Rico has a small carbon footprint relative to continental regions and developed nations. Reducing GHG emissions and sequestering carbon in Puerto Rico will have slight impact globally. However, mitigating climate change is a shared responsibility and quantifying GHG emissions and carbon sequestration is important to reach targets and align best practices for mitigation with local conditions and incentives, funding, regulations, and priorities identified at a national and multinational levels. Puerto Rico ranks 19th among 38 Latin American and Caribbean countries with the highest CO₂ emissions. Primary contributors to Puerto Rico net GHG emissions include industry, energy supply, and transportation.

Emissions. Estimates of GHG emissions in Puerto Rico range from approximately 25 to 46 million metric tons of gross CO₂ equivalent (MtCO₂e) emitted in 2018 and 2013 respectively. Either estimate represents less than 1 percent (~0.4-0.7%) of the total emissions emitted in 2019 in the U.S. Per capita emissions rates are between 50% to 78% of national averages. Emissions have declined by ~42% since 2005 and per capita emissions have declined as well, although at a lower rate since some of the decline in absolute emissions is associated with population loss.

Aerosols. Airborne particulate matter directly and indirectly affects the earth's energy balance and climate. Particulate matter (PM) can be seasonally significant in Puerto Rico, primarily in the form of Saharan dust plumes, but also as wildfire smoke and ash, volcanic emissions, and industrial and automotive exhaust. Black carbon (BC) is a fraction of the PM that absorbs radiation and has positive radiative forcing values. In Puerto Rico, BC concentrations have been found to be low to non-detectable.

Natural variability. The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and the North Atlantic Oscillation (NAO) have been associated with climate variability in Puerto Rico. One of the most important climate drivers for the year-to-year (interannual) climate variability is ENSO, a coupled ocean-atmospheric circulation feature within the equatorial Pacific with periodic changes in near surface ocean temperatures (El Niño) and the overlying atmosphere surface pressure (Southern Oscillation). Two anomalous ENSO phases that generate extreme weather include a warm phase (El Niño) with anomalous warm water in the central and eastern equatorial Pacific Ocean and a cold phase (La Niña) with anomalous cooler water for the same regions. ENSO phases impact tropical cyclone activity. El Niño events can increase vertical wind shear in the region and

produce an unfavorable atmospheric environment for tropical cyclones formation, hence the number of storms is typically reduced during El Niño years. The opposite is true for La Niña years. ENSO is also influenced by global warming. While there have been observed changes of increasing amplitude of ENSO and frequency of El Niño events, the role of anthropogenic forcing is still uncertain. Other drivers of natural variability include the North Atlantic Oscillation (NAO) and Saharan dust concentrations. A positive NAO can increase trade wind strength, increase evapotranspiration potential, reduce sea surface temperatures, and reduce precipitation. Increases in Saharan dust concentrations within the tropical Atlantic have been associated with rainfall reductions within the Caribbean and Puerto Rico.

Temperature observations. Temperatures across Puerto Rico vary strongly with topography, with cooler high elevations and warmer low elevations. Low elevation minimum nighttime temperatures in Puerto Rico have steadily increased and are at the highest levels since, at least, the beginning of the observing period in the middle of the 20th century. These temperatures have increased by 1.6 [0.9 to 2.2] °C between 1950-2000 and 2011-2020. It is also possible (but with lower confidence) that nighttime temperatures at high elevation locations are also at the highest levels in the observing period. High elevation nighttime temperatures have increased by 1.2 [0.1 to 2.1] °C between 1950-2000 and 2011-2020. Daytime maximum temperatures have not warmed significantly across the island over the past 70 years (1950 to 2020).

Temperature projections. Temperatures are projected to increase in Puerto Rico and across the Caribbean region over the 21st century across scenarios that correspond to both, lower and higher levels of human-caused greenhouse gas emissions. However the amount of warming that occurs, particularly for the end of the century, will depend on the future emissions pathway. Model simulations indicate that maximum temperatures could significantly warm by the middle of the century if greenhouse gas emissions continue to rapidly increase.

Rainfall observations. Annual rainfall varies over short distances from less than 1000 mm to over 4000 mm with gradients driven by the easterly trade winds and island topography. The year-to-year variability is also large. For instance, annual mean rainfall in San Juan from 1925 to 2020 has a minimum of 903 mm in 1991 to 2275 mm in 2010. Trends in annual mean rainfall are not significantly different from the mean for the period 1925 to 2020 while heavy rainfall events (> 3 inches in a day) are increasing in frequency as are periods of drought, indicating that while annual rainfall may not be changing, severe rainfall and drought events may be increasing.

Rainfall projections. The annual average rainfall from the most recent global Climate Model Intercomparison Project (CMIP6) ensemble depicts decreasing rainfall with increasing emissions. Decreases in the annual rainfall averaged over the Caribbean for mid-century (2041-2060) range from approximately a 1% to 6% decrease for the lowest and highest emission scenarios respectively. Late century drying (2080-2099) increases, with a 20% decrease in annual rainfall totals for the highest emission scenario, but almost no change for the lowest emission scenario. Understanding potential future rainfall scenarios in Puerto Rico requires downscaling global climate models to resolve rainfall gradients within the island. Statistical and dynamical downscaling indicate a shift to drier conditions within Puerto Rico as greenhouse gas concentrations increase. The magnitude of the decrease is sensitive to the generation of the global climate models, with larger reductions in CMIP3 (~50%) compared to CMIP5 (~25%) at 3 °C mean global warming. Dynamical downscaled projections of select CMIP5 global climate models centered on mid-century indicate within island reductions exceeding 20% for many locations. Modelled rainfall reductions are mainly the result of a reduction in rainfall intensity during afternoon and evening hours when thunderstorms are more pronounced. Additionally, there is evidence that higher elevations in northeastern Puerto Rico may mitigate drying.

Sea level rise observations. Reconstructed monthly means of water level elevations from Magueyes Island, La Parguera, Lajas (1955 to 2020) and La Puntilla, San Juan Bay (1964 to 2020) show a current relative sea level trend of 1.89 mm/yr at Magueyes Island and 2.10 mm/yr at San Juan. Since 2010, the sea level at Magueyes Island and San Juan have risen approximately 4.4 mm/yr and 1.8 mm/yr respectively. Long-term data sets from both tide gauges show an increasing acceleration in sea level rise of approximately ~0.3 m.

Sea level rise projections. Sea levels will likely continue to rise for centuries, even under ambitious mitigation scenarios. Long range projections indicate possibilities of sea levels rising 2.3–5.4 m by 2300. Adaptation will be challenging for small islands with low-lying and intensively developed and urbanized coasts. Projected low emission scenario indicate SLR of 0.19 m (0.62 feet) and 0.36 m (1.18 feet) by 2050 and 2100, respectively for San Juan, Puerto Rico. The intermediate extreme scenario SLR ranges between 0.83 m (3.09 feet) and 3.10 m (10.14 feet) by 2050 and 2100, respectively.

Ocean acidification and sea surface warming. Surface seawater pH levels from 1988 to 2020 decreased at a rate of -0.017 ±0.0002 units per decade within the Puerto Rico Exclusive Economic Zone. The current surface ocean is 12% more acidic (based on H⁺ concentration) than in 1988. Analysis using remotely sensed sea surface temperature data

from 1992 to 2020 at an open ocean location off the southwest Puerto Rico returned a warming rate of 0.26 ± 0.006 °C per decade. This is double the global rate and has resulted in a 2.3% higher surface ocean temperature than in 1992. Ocean warming has resulted in frequent seasonal occurrence of temperatures well above the coral bleaching threshold (29.5 °C). An average 25% of the observations off La Parguera and 13% of those off Ponce exceeded this threshold.

Tropical cyclones. Tropical cyclones encompass tropical depressions, storms, and hurricanes. From 1855 to 2019, there were on average 2.9 tropical cyclone events per five-year period within 200 nautical miles of Puerto Rico. There has been above average tropical cyclone activity for each of the last 5 five-year periods (25 years). Warmer sea surface and atmospheric temperatures are associated

with parameters that influence cyclone development, intensity, and rainfall. Climate model projections are used to understand potential changes in tropical cyclone frequency, intensity, and rainfall that occur as the climate warms. With a warming of 2 °C, projected changes in the total number of storms remains uncertain, but tropical cyclone intensity is projected to increase. This includes increases in the longevity of associated surface winds, and the proportion of tropical cyclones that reach the category 4 and 5 levels. Climate model simulations depict heavier rainfall associated with tropical cyclones as sea surface and atmospheric temperatures warm. Projections of tropical cyclone precipitation rate show global mean increases of 14% for 2 °C of global warming. Combined effects of increases in tropical cyclone intensity (wind speeds and rainfall rates) with rising sea levels will lead to increases in storm surge and coastal flooding.



Fuente: CARICOOS

RESUMEN EJECUTIVO

El clima de Puerto Rico está influenciado por el cambio climático global. Los siguientes capítulos presentan el conocimiento actual de los impulsores geofísicos y químicos y las señales del cambio climático global que afectan el clima de Puerto Rico e influyen los servicios, riesgos y vulnerabilidades dependientes del clima que gobiernan el bienestar humano. Estos incluyen el desarrollo económico sostenible, la prestación de servicios ecosistémicos, la conservación de los recursos naturales y culturales, la resiliencia en los sistemas naturales y artificiales y la seguridad alimentaria. Los capítulos se basan en la experiencia global de las interacciones terrestres, atmosféricas y geofísicas oceánicas asociadas con el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) que impulsan el calentamiento global y en la experiencia científica local, los datos, las observaciones y las proyecciones modeladas. Se presenta el escenario de calentamiento global (sección 1), la contribución de Puerto Rico al cambio climático global como emisiones de GEI y aerosoles (sección 2), el contexto de la variabilidad climática natural (sección 3), las tendencias observadas y proyectadas en la temperatura (sección 4), precipitación (sección 5), aumento del nivel del mar (sección 6), acidificación de los océanos y calentamiento de la superficie del mar (sección 7) y las implicaciones esperadas del calentamiento del clima en los ciclones tropicales que afectan a Puerto Rico (sección 8).

Escenario global. Las concentraciones de GEI que atrapan el calor han aumentado debido a la actividad humana durante más de 170 años, desde los niveles preindustriales de dióxido de carbono (CO₂), con un promedio anual de aproximadamente 280 ppm hasta los niveles actuales (2021) de más de 411 ppm. Además, los niveles de GEI de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) aumentaron a 1891.6 ppb y 334 ppb respectivamente en 2021. El calentamiento global continúa debido al aumento de las concentraciones de GEI, con 7 de los 10 años más cálidos registrados desde 2014. La temperatura promedio de la superficie global en 2020 fue 1.76 °F (0.98°C) más cálida que el promedio del siglo veinte de 57.0 °F (13.9 °C) y 2.14 °F (1.19 °C) más cálida que el período preindustrial (1880-1900). Es probable que el calentamiento sea mayor en las superficies terrestres y probablemente aumente la intensidad y frecuencia de los eventos de alta precipitación y clima muy seco, con implicaciones tanto para las inundaciones como para las sequías. Los cambios proyectados en la circulación atmosférica regional, incluyendo los monzones y las trayectorias de tormentas en latitudes medias, influirán en las tendencias regionales de precipitación y en la ubicación y frecuencia de los eventos extremos. La expansión térmica de los océanos y la disminución de las capas de hielo han provocado un aumento promedio del nivel del mar de 0.20

m entre 1901 y 2018, con tasas que han aumentado de 1.3 mm/año entre 1901 y 1971 a 3.7 mm/año entre 2006 y 2018. El aumento antropogénico del CO₂ atmosférico ha alterado el pH y el contenido de calor de la capa superior del océano. El pH de la superficie ha disminuido a nivel mundial, lo que ha provocado reducciones en el estado de saturación del carbonato de calcio y ha afectado a una variedad de organismos y ecosistemas marinos.

Mitigación. Puerto Rico tiene una pequeña huella de carbono en relación con las regiones continentales y las naciones desarrolladas. Reducir las emisiones de GEI y secuestrar carbono en Puerto Rico tendrá un leve impacto a nivel mundial. Sin embargo, mitigar el cambio climático es una responsabilidad compartida y cuantificar las emisiones de GEI y el secuestro de carbono es importante para alcanzar los objetivos y alinear las mejores prácticas de mitigación con las condiciones e incentivos locales, el financiamiento, las regulaciones y las prioridades identificadas a nivel nacional y multinacional. Puerto Rico ocupa el puesto 19 entre los 38 países de América Latina y el Caribe con las mayores emisiones de CO₂. Los principales contribuyentes a las emisiones netas de GEI de Puerto Rico incluyen la industria, el suministro de energía y el transporte.

Emisiones. Las estimaciones de las emisiones de GEI en Puerto Rico oscilan entre aproximadamente 25 y 46 millones de toneladas métricas de CO₂ equivalente (MtCO₂e) emitidas en 2018 y 2013 respectivamente. Cualquiera de las estimaciones representa menos del 1 por ciento (~ 0.4-0.7%) de las emisiones totales emitidas en 2019 en los Estados Unidos. Las tasas de emisiones per cápita se encuentran entre el 50% y el 78% de los promedios nacionales. Las emisiones han disminuido en aproximadamente un 42% desde 2005 y las emisiones per cápita también han disminuido, aunque a un ritmo menor, ya que parte de la disminución de las emisiones absolutas está asociada con la pérdida de población.

Aerosoles. Las partículas en suspensión en el aire afectan directa e indirectamente el equilibrio energético y el clima de la tierra. El material particulado (PM) puede ser estacionalmente significativo en Puerto Rico, principalmente en forma de columnas de polvo del Sahara, pero también como humo y cenizas de incendios forestales, emisiones volcánicas y gases de escape industriales y automotrices. El carbono negro (BC) es una fracción del PM que absorbe la radiación y tiene valores positivos de forzamiento radioactivo. En Puerto Rico, se ha encontrado que las concentraciones de BC son bajas o no detectables.

Variabilidad natural. El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) se han asociado con la variabilidad climática en Puerto Rico. Uno de los impulsores climáticos más importantes de la variabilidad climática de un año a otro (interanual) es ENSO, una característica de circulación oceánica-atmosférica acoplada dentro del Pacífico ecuatorial con cambios periódicos en las temperaturas oceánicas cercanas a la superficie (El Niño) y la presión superficial de la atmósfera suprayacente (Oscilación del Sur). Dos fases anómalas del ENSO que generan un clima extremo incluyen una fase cálida (El Niño) con agua cálida anómala en el Océano Pacífico ecuatorial central y oriental y una fase fría (La Niña) con agua más fría anómala para las mismas regiones. Las fases de ENSO impactan la actividad de los ciclones tropicales. Los eventos de El Niño pueden aumentar la cizalladura vertical del viento en la región y producir un ambiente atmosférico desfavorable para la formación de ciclones tropicales por lo tanto, el número de tormentas se reduce típicamente durante los años de El Niño. Lo contrario ocurre para los años de La Niña. ENOS también está influenciado por el calentamiento global. Si bien se han observado cambios de amplitud creciente de ENSO y frecuencia de eventos de El Niño, el papel de la influencia antropogénica aún es incierta. Otros impulsores de la variabilidad natural incluyen la NAO y las concentraciones de polvo del Sahara. Una NAO positiva puede aumentar la fuerza de los vientos alisios, aumentar el potencial de evapotranspiración, reducir las temperaturas de la superficie del mar y reducir las precipitaciones. Los aumentos en las concentraciones de polvo del Sahara en el Atlántico tropical se han asociado con la reducción de las precipitaciones en el Caribe y Puerto Rico.

Observaciones de temperatura. Las temperaturas en Puerto Rico varían fuertemente con la topografía, con elevaciones altas más frías y elevaciones bajas más cálidas. Las temperaturas nocturnas mínimas en las zonas de baja elevación en Puerto Rico han aumentado constantemente y están en los niveles más altos desde al menos el comienzo del período de observación a mediados del siglo 20. Estas temperaturas han aumentado en 1.6 [0.9 a 2.2] °C entre 1950-2000 y 2011-2020. También es posible (pero con menor confianza) que las temperaturas nocturnas en lugares de gran altitud también estén en los niveles más altos en el período de observación. Las temperaturas nocturnas a gran altitud han aumentado en 1.2 [0.1 a 2.1] °C entre 1950-2000 y 2011-2020. Las temperaturas máximas diurnas no han aumentado significativamente en toda la isla durante los últimos 70 años (1950 a 2020).

Proyecciones de temperatura. Se prevé que las temperaturas aumenten en Puerto Rico y en toda la región del Caribe durante el siglo 21 en escenarios que corresponden tanto a niveles más bajos como más altos de emisiones de gases de efecto invernadero causadas por los humanos. Sin embargo,

la cantidad de calentamiento que se produzca, especialmente para finales de siglo, dependerá de la ruta de las emisiones futuras. Las simulaciones de modelos indican que las temperaturas máximas podrían aumentar significativamente a mediados de siglo si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando rápidamente.

Observaciones de precipitaciones. La precipitación anual varía en distancias cortas desde menos de 1000 mm hasta más de 4000 mm, con gradientes impulsados por los vientos alisios del este y la topografía de la isla. La variabilidad de un año a otro también es grande. Por ejemplo, la precipitación promedio anual en San Juan entre 1925 a 2020 tiene un mínimo de 903 mm en 1991 a 2275 mm en 2010. Las tendencias en la precipitación promedio anual no son significativamente diferentes del promedio para el período de 1925 a 2020, mientras que los eventos de lluvias fuertes (> 3 pulgadas en un día) están aumentando en frecuencia al igual que los períodos de sequía, lo que indica que si bien las lluvias anuales pueden no estar cambiando, las lluvias severas y los eventos de sequía pueden estar aumentando.

Proyecciones de precipitaciones. La precipitación promedio anual del conjunto más reciente del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP6) muestra una disminución de la precipitación con un aumento de las emisiones. Las disminuciones en la precipitación anual promediada en el Caribe para mediados de siglo (2041-2060) van desde aproximadamente una disminución del 1% al 6% para los escenarios de emisiones más bajas y más altas, respectivamente. Para finales de siglo (2080 - 2099) la sequía aumenta con una disminución del 20% en los totales de lluvia anual para el escenario de mayor emisión, pero casi ningún cambio para el escenario de menor emisión. Comprender los posibles escenarios futuros de lluvia en Puerto Rico requiere una modificación de los modelos climáticos globales para resolver los gradientes de lluvia dentro de la isla. La reducción de escala estadística y dinámica indica un cambio a condiciones más secas dentro de Puerto Rico a medida que aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero. La magnitud de la disminución es sensible a la generación de modelos climáticos globales, con mayores reducciones en CMIP3 (~ 50%) en comparación con CMIP5 (~ 25%) a 3 °C de calentamiento global promedio. Las proyecciones dinámicas a escala reducida de modelos climáticos globales CMIP5 seleccionados, centrados en mediados de siglo indican reducciones dentro de las islas que superan el 20% para muchas ubicaciones. Las reducciones de lluvia modeladas son principalmente el resultado de una reducción en la intensidad de lluvia durante las horas de la tarde y la noche, cuando las lluvias son más pronunciadas. Además, existe evidencia de que las elevaciones más altas en el noreste de Puerto Rico pueden mitigar el secado.

Observaciones del aumento del nivel del mar. Promedios mensuales reconstruidos de elevaciones del nivel de agua en Isla Maguëyes, La Parguera, Lajas (1955 a 2020) y La Puntilla, Bahía de San Juan (1964 a 2020) muestran una tendencia actual relativa al nivel del mar de 1.89 mm/año en la Isla Maguëyes y 2.10 mm/año en San Juan. Desde 2010, el nivel del mar en Isla Maguëyes y San Juan ha aumentado aproximadamente 4.4 mm/año y 1.8 mm/año respectivamente. Los conjuntos de datos a largo plazo de ambos mareógrafos muestran una aceleración creciente en el aumento del nivel del mar de aproximadamente -0.3 m.

Proyecciones de aumento del nivel del mar. Es probable que el nivel del mar continúe aumentando durante siglos, incluso en escenarios ambiciosos de mitigación. Las proyecciones a largo plazo indican la posibilidad de que el nivel del mar aumente entre 2.3 y 5.4 m para el 2300. La adaptación será un desafío para las islas pequeñas con costas bajas y urbanizadas intensivamente. El escenario de bajas emisiones proyectado indica aumento en el nivel del mar de 0.19 m (0.62 pies) y 0.36 m (1.18 pies) para 2050 y 2100, respectivamente para San Juan, Puerto Rico. El escenario extremo intermedio de aumento en el nivel del mar oscila entre 0.83 m (3.09 pies) y 3.10 m (10.14 pies) para 2050 y 2100, respectivamente.

Acidificación del océano y calentamiento de la superficie del mar. Los niveles de pH del agua de mar superficial de 1988 a 2020 disminuyeron a una tasa de -0.017 ± 0.0002 unidades por década dentro de la Zona Económica Exclusiva de Puerto Rico. La superficie actual del océano es un 12% más ácida (a base de la concentración de H⁺) que en 1988. El análisis que utilizó datos de temperatura de la superficie del mar detectados remotamente de 1992 a 2020 en una ubicación en mar abierto frente al suroeste de Puerto Rico arrojó una tasa de calentamiento de 0.26 ± 0.006 °C por década. Esto es el doble de la tasa mundial y ha dado lugar a una temperatura del océano en la superficie un 2.3% más alta que en 1992. El calentamiento del océano ha provocado la aparición frecuente de temperaturas estacionales muy por encima del umbral de blanqueamiento de los corales (29.5 °C). Un promedio del 25% de las observaciones frente a La Parguera y el 13% frente a Ponce superaron este umbral.

Ciclones tropicales. Los ciclones tropicales abarcan depresiones tropicales, tormentas y huracanes. De 1855 a 2019, hubo un promedio de 2.9 eventos de ciclones tropicales por período de cinco años dentro de las 200 millas náuticas de Puerto Rico. Ha habido una actividad de ciclones tropicales superior al promedio en cada uno de los últimos cinco períodos de cinco años (25 años). Las temperaturas más cálidas de la superficie del mar y la atmósfera están asociadas con parámetros que influyen en el desarrollo, la intensidad y las precipitaciones asociadas a los ciclones. Las proyecciones

de modelos climáticos se utilizan para comprender los cambios potenciales en la frecuencia, intensidad y lluvia asociada a los ciclones tropicales que ocurren a medida que el clima se calienta. Con un calentamiento de 2°C, los cambios proyectados en el número total de tormentas siguen siendo inciertos, pero se prevé que la intensidad de los ciclones tropicales aumente. Esto incluye aumentos en la longevidad de los vientos superficiales asociados y la proporción de ciclones tropicales que alcanzan los niveles de categoría 4 y 5. Las simulaciones de modelos climáticos muestran lluvias más intensas asociadas con ciclones tropicales a medida que la superficie del mar y las temperaturas atmosféricas se calientan. Las proyecciones de la tasa de precipitación de ciclones tropicales muestran un aumento promedio global del 14% para 2 °C de calentamiento global. Los efectos combinados de los aumentos en la intensidad de los ciclones tropicales (velocidades del viento y tasas de lluvia) con el aumento del nivel del mar dará lugar a aumentos en las marejadas ciclónicas e inundaciones costeras.



SECTION 01 Our Warming Planet

Over the last 150 years the world has warmed as humans have continued to add heat-trapping greenhouse gases (GHGs) to the atmosphere (IPCC, 2021; Wuebbles et al., 2017; Figure 1). This warming has triggered many changes in the earth's climate. Numerous independent lines of evidence have documented these changes, from the atmosphere to the ocean to the polar regions. This warming, primarily in response to human activities, is causing widespread effects in the physical environment, including more intense storms, melting glaciers, disappearing snow cover, shrinking sea ice, rising sea levels, changes in rainfall patterns, and shifting droughts (Wuebbles et al., 2017).

Globally, surface temperatures have increased by 0.99 [0.84 to 1.10] °C in recent decades (2001-2020) compared to the pre-industrial average from 1850-1900 (IPCC, 2021). This warming has occurred over nearly the entirety of the earth's surface. Precipitation has also increased as the earth's atmosphere warms and contains more water vapor. But the changes in precipitation are uneven, with patterns of wetting and drying interspersed around the planet. As the earth warms, melting ice from land surfaces and expanding ocean volume has resulted in global mean sea levels to rise by 0.20 [0.15 to 0.25] m between 1901 and 2018 (IPCC, 2021). The rising concentrations of GHGs in the atmosphere, now higher than any period in the last 800,000 years, have also affected the chemistry of the ocean, causing it to become more acidic. These large-scale changes in the earth's climate are in turn causing changes locally to Puerto Rico's climate and environment.

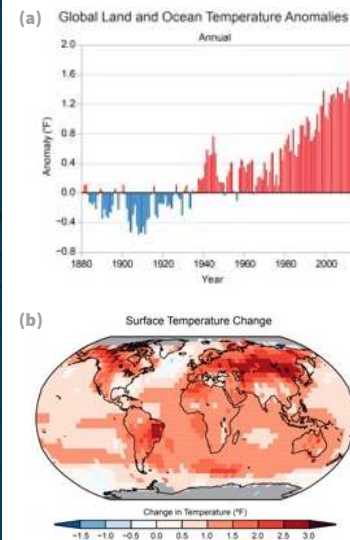


Figure 1. Global annual average temperature - (a) Red bars show temperatures above the 1901-1960 average, and blue bars indicate temperatures below the average. From 1986-2016 global average surface temperature increased by 0.7°C (1.26°F) compared to 1901-1960 (Wuebbles et al., 2017) and by 0.99 °C from 2001-2020 compared to 1850-1900 (IPCC, 2021). (b): Surface Temperature Changes (in °F). (Figure from Wuebbles et al., 2017)



**Want to read more?
Click on the link to open the complete publication:**

https://drive.google.com/file/d/1fXWAoXDn4_vNKKa1GKwow_E09OdOosOz/view?usp=share_link