

elittoral

ESTUDIO RECOPIULATORIO DE INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN PAÍSES DE LA COSTA NOROCCIDENTAL DE ÁFRICA Y ARCHIPIÉLAGOS MACARONÉSICOS

Proyecto Mac-Clima, programa MAC 2014-2020
Cooperación Territorial

2020



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

Este trabajo es una contribución al proyecto MAC-CLIMA (MAC2/3.5b/254), liderado por el Consejo Insular de Energía de Gran Canaria en el marco del Programa de Cooperación Interreg V-A España-Portugal (Madeira-Azores-Canarias) 2014-2020, cofinanciado al 85% con fondos FEDER.



La misión del proyecto MAC-CLIMA es impulsar la creación de un tejido institucional, científico y social, capaz de coordinar los trabajos en materia de adaptación y mitigación del cambio climático en los países de la región.



Dirección

Ing. Alexis Lozano Medina (Consejo Insular de la Energía de Gran Canaria)



Coordinación

Dr. Ángel Luque Söllheim (elittoral Estudios de Ingeniería Costera y Oceanográfica SLNE)



Redacción

Dr. Nicolás Ferrer Valero (elittoral Estudios de Ingeniería Costera y Oceanográfica SLNE)



Dr. Ángel Luque Söllheim (elittoral Estudios de Ingeniería Costera y Oceanográfica SLNE)

CONTENIDOS

1.INTRODUCCION	6
1.1.MARCO DE TRABAJO Y OBJETIVOS	7
1.2.EL CAMBIO CLIMÁTICO COMO PROBLEMÁTICA GLOBAL	8
1.3.INDICADORES PRINCIPALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	10
1.3.1.PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS.....	10
1.3.2.PARÁMETROS OCEÁNICOS	11
2. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁMBITO MAC-CLIMA.....	12
2.1.TERRITORIOS Y PAÍSES	13
2.2.FUENTES Y BASES DE DATOS CONSULTADAS	15
2.3.INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y PROYECCIONES REGIONALES	16
2.3.1.TEMPERATURA ATMOSFÉRICA.....	17
2.3.2.PRECIPITACIÓN.....	22
2.3.3.TEMPERATURA DEL MAR.....	28
2.3.4.NIVEL DEL MAR	28
2.3.5.OLEAJE Y TEMPORALES	30
3. SENEGAL.....	31
3.1.CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES	32
3.2.TEMPERATURA DEL AIRE	33
3.2.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	33
3.2.2.PROYECCIONES.....	35
3.3.PRECIPITACIONES	37
3.3.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	37
3.3.2.PROYECCIONES.....	39
3.4.NIVEL DEL MAR	41
3.4.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	41
3.4.2.PROYECCIONES.....	41
3.5.OLEAJE	42
3.5.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	42
3.6.RIESGOS E IMPACTOS EN EL TERRITORIO	43
3.6.1.EROSIÓN	43
3.6.2.INUNDACIONES	43
3.6.3.SEQUÍAS	45
3.7.ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN	46
4. MAURITANIA.....	49
4.1.CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES	50
4.2.TEMPERATURA	51
4.2.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS.....	51
4.2.2.PROYECCIONES.....	52
4.3.PRECIPITACIÓN.....	52
4.3.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS.....	52
4.3.2.PROYECCIONES.....	54
4.4.NIVEL DEL MAR	55
4.4.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS.....	55
4.4.2.PROYECCIONES.....	56

4.5.OLEAJE	56
4.5.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS.....	56
4.6.IMPACTOS PRINCIPALES	57
4.6.1.EROSIÓN	58
4.6.2.INUNDACIONES	60
4.6.3.SEQUÍAS	60
4.7.PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.....	60
5. CABO VERDE	63
5.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES	64
5.2. TEMPERATURA	65
5.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS	65
5.2.2. PROYECCIONES	67
5.3. PRECIPITACION	68
5.3.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS	68
5.3.2. PROYECCIONES	71
5.4. NIVEL DEL MAR	72
5.4.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	72
5.4.2.PROYECCIONES.....	74
5.5. OLEAJE	74
5.5.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS	74
5.5.2. PROYECCIONES	76
5.6.IMPACTOS PRINCIPALES	77
5.6.1. EROSION	77
5.6.2. INUNDACIONES	77
5.6.3. SEQUÍAS.....	78
5.6.4. BIODIVERSIDAD Y SALUD	79
5.7. PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.....	79
6. ISLAS CANARIAS	82
6.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES	83
6.2.TEMPERATURA	84
6.2.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	84
6.2.2.PROYECCIONES.....	86
6.3.PRECIPITACION.....	88
6.3.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	88
6.3.2.PROYECCIONES.....	90
6.4.NIVEL DEL MAR	91
6.4.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	91
6.4.2.TPROYECCIONES	93
6.5.OLEAJE	96
6.5.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	96
6.5.2.TPROYECCIONES	97
6.6.IMPACTOS PRINCIPALES	98
6.6.1.EROSION	98
6.6.2.INUNDACIONES	98
6.6.3.OLAS DE CALOR.....	100
6.6.3.SEQUÍAY DÉFICIT HÍDRICO	100
6.7.PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.....	102
7. MADEIRA	105
7.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES	106
7.2.TEMPERATURA	107
7.2.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	107
7.2.2.PROYECCIONES.....	108

7.3.PRECIPITACION	109
7.3.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	109
7.3.2. PROYECCIONES	110
7.4.NIVEL DEL MAR	112
7.4.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	112
7.5.OLEAJE	112
7.5.1.TENDENCIAS HISTÓRICAS	113
7.6.IMPACTOS PRINCIPALES	113
7.6.1.INUNDACIONES	114
7.6.2.SEQUÍAS	115
7.6.3.BIODIVERSIDAD	116
7.7.PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN	117
8. CONLUCIONES	119
8.1. TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y PROYECCIONES EN LOS TERRITORIOS MAC-CLIMA	120
8.2. RIESGOS, IMPACTOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS TERRITORIOS MAC-CLIMA	125
REFERENCIAS	131



1.1. MARCO DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Este trabajo constituye una contribución al proyecto MAC-CLIMA, aprobado en el marco del Programa de Cooperación Interreg V-A España-Portugal (Madeira-Azores-Canarias) 2014-2020 y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). El proyecto se enmarca en las líneas estratégicas del Cabildo de Gran Canaria, que tiene la vocación de encabezar la lucha contra el calentamiento global en el ámbito regional. MAC-Clima está liderado por el Ente Público Empresarial Consejo Insular de la Energía de Gran Canaria, y cuenta con la participación de los Cabildos de Gran Canaria, El Hierro, Lanzarote y Tenerife, distintos institutos de investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), Secretaría Regional de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Madeira, Agencia Regional para el Desarrollo de la Investigación, Tecnología e Innovación de Madeira (ARDITI), Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal (ANACIM), Instituto Nacional de Meteorología de Cabo Verde, y Office National de la Météorologie (ONM) de Mauritania.

MAC-Clima persigue impulsar un sistema de observación meteorológica y oceánica como herramienta para el fomento de la resiliencia y adaptación al cambio climático en el espacio de cooperación regional. El proyecto trabaja en la promoción y desarrollo de una estrategia conjunta que permita monitorizar de forma coordinada el fenómeno del cambio climático e impulsar la difusión de conocimientos científicos que ayuden a comprender este fenómeno; además de fomentar el establecimiento de políticas de adaptación, mitigación y concienciación frente al cambio climático que protejan a la población, recursos e infraestructuras.

Hasta la fecha, los esfuerzos científicos y de investigación no han estado coordinados, por lo que el reto es consolidar una red de observación científica internacional que responda a la necesidad de implementar un sistema de observación científica en materia oceanográfica y meteorológica sobre los impactos del calentamiento global, contribuyendo así a diseñar acciones de adaptación entre la ciudadanía, los territorios y los sectores productivos.

El presente documento pretende sentar las bases del conocimiento científico acumulado y servir así de punto de partida del proyecto MAC-Clima en el impulso de una red institucional de cooperación para el desarrollo de un marco colaborativo y metodológico en el seguimiento del cambio climático. En él se aborda una revisión de los datos científicos disponibles, desde hace 15 años hasta la actualidad, sobre indicadores, proyecciones e impactos del cambio climático en países de la costa noroccidental de África y archipiélagos macaronésicos (Senegal, Mauritania, Cabo Verde, islas Canarias –España- y Madeira –Portugal-). A lo largo del mismo se exponen los resultados más relevantes sobre el estudio de los principales indicadores del cambio climático (tendencias de temperatura, precipitación, nivel del mar, etc.) así como sus consecuencias sobre los territorios continentales, costeros y archipelágicos de la región (sequías, inundaciones, olas de calor, procesos erosivos, epidemias, biodiversidad, etc.). Finalmente, se incluyen recomendaciones de trabajo para los 3 próximos años que sienten las bases de una red coordinada de observación climatológica interregional.

1.2. EL CAMBIO CLIMÁTICO COMO PROBLEMÁTICA GLOBAL

El cambio climático actual se refiere al proceso de calentamiento global de origen antropogénico que afecta al conjunto del planeta desde el inicio de la era industrial, y que se ha visto acelerado en las últimas décadas. La Tierra ya se ha calentado y enfriado en otras ocasiones de forma natural, pero lo cierto es que estos ciclos siempre habían sido mucho más lentos, necesitando miles de años, mientras que ahora, como consecuencia de la actividad humana, están ocurriendo de forma mucho más rápida, con cambios medibles en cuestión de pocas decenas de años y con drásticas consecuencias en cuanto a pérdida de hábitats, biodiversidad, recursos naturales, etc.

Los principales impulsores del cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero y los procesos naturales y antropógenos que las generan alterando el balance energético de la Tierra (secuestro de energía). Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero han aumentado desde la era preindustrial como resultado del crecimiento económico y demográfico. La concentración de CO₂ en la atmósfera superó entre 2017 y 2019 las 416 ppm (2019), alcanzando cotas registradas en testigos fósiles correspondientes al Plioceno Medio, entre 3 y 5 millones de años atrás

El forzamiento radiativo cuantifica la perturbación de la energía en el sistema terrestre provocada por esos impulsores: forzamientos superiores a cero dan lugar a un calentamiento de la superficie; forzamientos inferiores, a un enfriamiento. Según los cálculos, el forzamiento radiativo antropógeno total durante el período 1750-2011 representa un efecto de calentamiento de 2,3 [1,1 a 3,3] W/m², habiendo aumentado a un mayor ritmo desde 1970 que durante las décadas anteriores (IPCC, 2013).

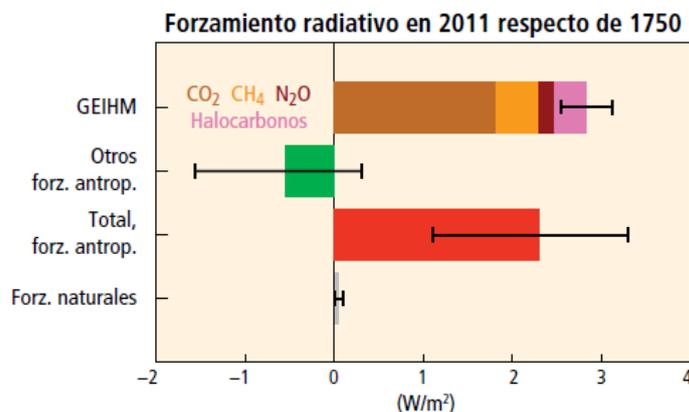


Figura 1.2.1 | Forzamiento radiativo del cambio climático durante la era industrial (1750-2011) procedente de gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados (GEIHM), otros forzamientos antropógenos (aerosoles, usos del suelo y ozono) y forzamientos naturales (efectos solares y volcánicos). Las barras de error indican una incertidumbre de entre 5% y 95%. Fuente: IPCC, 2013.

Según el quinto informe de evaluación del IPCC (2013), la mitad del aumento observado en la temperatura media global en superficie en el período 1951-2010 ha sido causado por la combinación del incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero y de otros forza-

mientos antropógenos. Las emisiones acumuladas de CO₂ y el futuro forzamiento radiativo distinto del CO₂ determinan la probabilidad de limitar el calentamiento global a 1,5 °C (IPCC, 2018). El IPCC ha definido 4 escenarios de emisión de GEI, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP). Estos escenarios contemplan un Forzamiento Radiativo (FR) para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5W/m², en función de los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático. Los RCP comprenden un primer escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6), 2 escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5).

El dióxido de carbono es el gas que más ha contribuido al forzamiento radiativo en el periodo 1750-2011, habiéndose emitido la mitad de la cantidad total en los últimos 40 años. En dicho período se han añadido a la atmósfera emisiones de CO₂ antropógenas por un volumen de 2.040 ± 310 GtCO₂. Gran parte de la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente de CO₂, procede de la quema de combustibles fósiles y de los procesos de producción y consumo de energía que implican mecanismos de combustión. Las emisiones antropógenas provienen directamente de los sectores de la energía (47%), la industria (30%), el transporte (11%) y la construcción (3%); y el CO₂ representó en 2010 el 76% de estas emisiones totales de GEI. Del restante 24%, el 16% procedió del metano (CH₄), el 6,2% del óxido nitroso (N₂O) y el 2,0% de gases fluorados. Alrededor del 40% de las emisiones de CO₂ permanecen en la atmósfera (880 ± 35 GtCO₂) desde 1750; resto ha sido eliminado de la atmósfera por sumideros o almacenado en los reservorios naturales del ciclo del carbono (principalmente océanos –acidificación- y bosques).

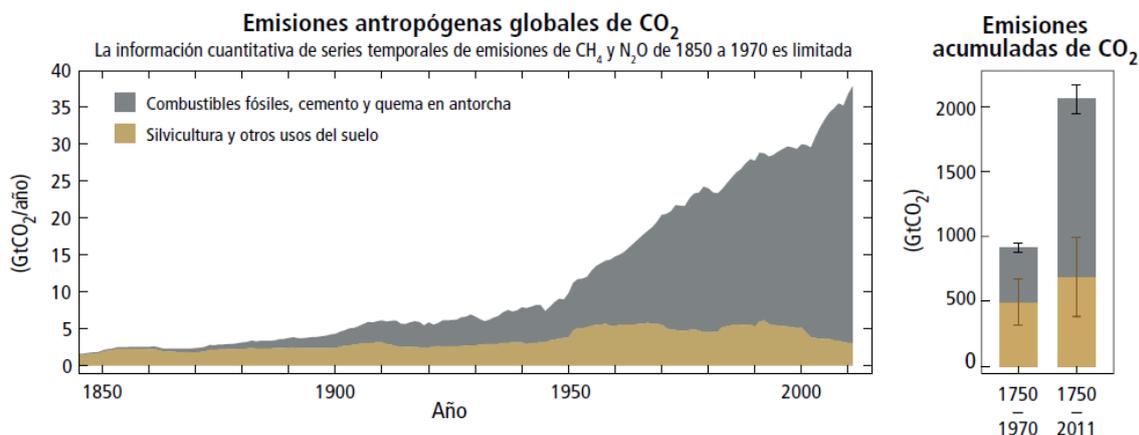


Figura 1.2.2 | Emisiones antropógenas globales anuales de dióxido de carbono (gigatonelada de CO₂ al año) procedentes de la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento, la silvicultura y otros usos del suelo (FOLU), de 1750 a 2011. Las emisiones acumuladas y sus incertidumbres se muestran como barras y bigotes verticales, respectivamente, a la derecha.

Aunque el cambio climático afecta al conjunto de los sistemas terrestres (atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera), su intensidad no es igual a lo largo y ancho del globo, así como tampoco los impactos sociales y económicos derivados de las alteraciones en los sistemas naturales. De esta forma, los esfuerzos por estudiar y predecir el cambio climático, sus efectos sobre los sistemas naturales y humanos, y la adopción de medidas de adaptación social a los nuevos escenarios, se han convertido en unos de los problemas centrales de la sociedad actual.

1.3. INDICADORES PRINCIPALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC) utilizan la temperatura, la precipitación y el aumento del nivel del mar como los parámetros más importantes con respecto al cambio climático. En este informe se recogen datos de observaciones y proyecciones sobre parámetros tanto atmosféricos (principalmente temperatura del aire, precipitación y viento) como oceánicos (principalmente temperatura del mar, nivel del mar y oleaje) que se describen resumidamente a continuación.

1.3.1. PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra, a la que se mantiene unida por la fuerza de la gravedad. Tiene un espesor de aproximadamente 10,000 kilómetros, una masa de $5,1 \times 10^{18}$ kg y se divide en varias capas concéntricas desde la superficie del planeta hacia el exterior. El calentamiento global se está produciendo en la capa inferior en contacto con la superficie terrestre: la troposfera. Esta capa se extiende desde la superficie hasta unos 10-15 kilómetros de altitud, conteniendo aproximadamente el 75% de la masa de gases total de la que se compone la atmósfera y siendo el entorno donde se desarrolla la vida.

Los indicadores atmosféricos más importantes en los estudios de cambio climático son:

- ✓ Las alteraciones en el régimen de temperaturas del aire. Estas alteraciones se refieren tanto a los cambios en valores medios (ascenso de la temperatura media) como a los cambios en la distribución y frecuencia de los valores extremos (eventos extremos de calor o frío). El ascenso de la temperatura del aire puede tener repercusiones en todos los sistemas terrestres, animales y vegetales, así como en los suelos y el régimen hídrico.
- ✓ Las alteraciones en el régimen de precipitaciones. De nuevo, se puede referir tanto a las alteraciones de los valores medios (ascenso o descenso de la precipitación media) como a los cambios en la distribución y frecuencia de los fenómenos extremos (eventos extremos de lluvia). Las alteraciones en los regímenes de lluvias pueden alterar seriamente los sistemas productivos humanos, sobre todo agrarios, y provocar modificaciones irreversibles en los ecosistemas. El aumento de las lluvias torrenciales puede suponer asimismo una fuente de riesgos ligada a la inundación de las cuencas.
- ✓ Las alteraciones del régimen de vientos. Se refiere sobre todo a cambios en intensidad normal y dirección de los vientos a escala regional por alteraciones en las distribuciones de energía y por lo tanto en las dinámicas de circulación atmosféricas globales. El cambio en el régimen de vientos se producirá en respuesta a otros forzamientos y provocará a su vez importantes alteraciones en los sistemas tanto terrestres como marinos. Los episodios extremos podrán venir dados por cambios en la frecuencia o intensidad de ciclones o tormentas.

1.3.2. PARÁMETROS OCEÁNICOS

Los océanos son las masas de aguas marinas que cubren alrededor del 71% de la Tierra. Suman 361 millones de km² de superficie, un volumen total de aproximadamente 1,300 millones de km³ y poseen una profundidad media de 3,900 m. Estas masas de agua están estratificadas en capas y compuestas fundamentalmente por sodio, cloro, magnesio, calcio y potasio. Debido a su gran volumen y masa, así como a las características térmicas del agua, el océano tiene un papel fundamental en el sistema climático, pudiendo influir decisivamente en las características térmicas de la atmósfera y en su dinamismo global.

Los indicadores oceánicos más importantes en el estudio del cambio climático son:

- ✓ Las alteraciones en la temperatura media del mar. Sobre todo, en referencia al calentamiento progresivo de las distintas capas del océano y particularmente al calentamiento de los primeros 100 metros de la columna de agua que se encuentra en contacto con la atmósfera. Este hecho tiene una particular incidencia en la alteración de los ecosistemas y los recursos marinos de los cuales dependen muchos sistemas socioeconómicos.
- ✓ La alteración del nivel medio del mar. Comporta el fenómeno de ascenso progresivo del nivel medio del mar debido al efecto conjunto de la expansión térmica del océano y del derretimiento de las masas glaciares continentales. Este fenómeno, que tiene intensidades distintas según las regiones, tendrá efectos en la inundación de los territorios costeros donde se concentra la mayor parte de la población mundial y los recursos económicos.
- ✓ Las alteraciones del régimen de oleaje y corrientes. Se refiere a los cambios que se están produciendo en la intensidad y la frecuencia de oleajes extremos (régimen extremal) y a las alteraciones en la dirección e intensidad de las corrientes costeras. Estos fenómenos están, junto con los procesos de ascenso del nivel medio del mar, intensificando los fenómenos de erosión e inundación de las costas y afectando a las comunidades humanas y sistemas naturales de amplias extensiones de territorio.

2

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁMBITO MAC-CLIMA

2.1. TERRITORIOS Y PAÍSES

El proyecto MAC-Clima involucra tres archipiélagos de la región macaronésica: Cabo Verde, islas Canarias (España) y Madeira (Portugal); y dos países de la costa noroccidental del continente africano: Senegal y Mauritania.

SENEGAL

Senegal es un país de 196,722 km² que limita con el Océano Atlántico en el punto más occidental del continente africano. En la actualidad cuenta con 15,589,485 habitantes, lo que arroja una densidad de población de 68.7 hab./km², concentrada sobre todo en las áreas costeras y en la capital, Dakar. Aunque ha experimentado un crecimiento económico constante en los últimos años, el nivel de vida de la población sigue siendo muy bajo. La pobreza en Senegal es más intensa en las zonas rurales, donde reside aproximadamente el 60% de la población.

MAURITANIA

Mauritania es un país del Sahel occidental africano que cuenta con una superficie de 1,030,700km² y una línea de costa de 754 km. En el censo de 2018 se contabilizó una población de 4,403,313 de habitantes, lo que resulta en una densidad muy baja, de 3.4 hab./km². La población se encuentra muy concentrada en la costa, sobre todo en Nuakchot, la capital, y en Nouabidouh. La economía mauritana depende en gran medida del sector primario (minería, pesca, ganadería y agricultura). Es uno de los países menos desarrollados del mundo. 2017, tenía un Producto Interno Bruto (PIB) de 2,16 mil millones de dólares.

CABO VERDE

Cabo Verde es un archipiélago de origen volcánico compuesto de 10 islas, situado a 500 kilómetros del continente africano. El país tiene una población estimada de 520,500 habitantes y una densidad alta, de 101 hab./km². Posee 4 033 km², de los cuales solo el 10% es cultivable. A pesar del clima árido y el terreno montañoso, se ha desarrollado gracias, en gran parte, a su floreciente industria turística. Cabo Verde tiene una de las emisiones de GEI más bajas per cápita, aunque se enfrenta a graves desafíos de adaptación al cambio climático asociados con la disponibilidad de recursos hídricos, la seguridad alimentaria y energética y a los procesos de desertificación.

ISLAS CANARIAS

Canarias es un archipiélago de origen volcánico situado en el Océano Atlántico a 97 kilómetros de Marruecos y el Sáhara occidental y aproximadamente a unos 1,400 km de la Península Ibérica. Forma una región autónoma de España y está compuesto por ocho islas principales (Lanzarote, La Graciosa, Fuerteventura, Gran Canaria, Tenerife, La Gomera, La Palma y El Hierro) y seis

islotes, que suman 7,447 km². Cuenta con las islas de mayor tamaño en el ámbito de la Macaronesia, con la mayor población (2,127,685 hab.) y con la economía de mayor dimensión dentro del ámbito regional. La economía está basada en el sector terciario (74%), principalmente en el turismo, lo que ha propiciado también un importante desarrollo urbanístico.

MADEIRA

Madeira es un archipiélago volcánico compuesto de una isla principal (Madeira), una más pequeña (Porto Santo) y tres islas menores deshabitadas (Desertas). En conjunto suman una superficie de 828 km². Forma una región autónoma de Portugal y constituye, al igual que Canarias, una de las regiones ultraperiféricas de la Unión Europea. Dista unos 500 km, hacia el norte, de las islas Canarias. La población de Madeira es de 260,000 habitantes, con una densidad de 334,4 hab/km², concentrada en la capital, Funchal. La principal actividad económica de la región es el turismo, recibiendo muchos visitantes procedentes de Europa durante todo el año.



Figura 2.1.1 | Mapa de los países y territorios que abarca el proyecto MAC-Clima.

2.2. FUENTES Y BASES DE DATOS CONSULTADAS

Este trabajo se ha realizado siguiendo una búsqueda bibliográfica exhaustiva para recopilar y revisar toda la información más relevante sobre el cambio climático en los territorios MAC-Clima: Senegal, Mauritania, Cabo Verde, islas Canarias (España), Madeira (Portugal). Con base en la recopilación y selección de datos bibliográficos, se han generado nuevos mapas y tablas con valores sintéticos sobre el cambio climático y sus efectos en los diferentes territorios.

Los documentos que se han revisado son principalmente trabajos académicos, informes, libros y fuentes web disponibles al público. Particularmente importantes en el conjunto de la bibliografía han sido los informes del IPCC sobre cambio climático, los informes publicados por organizaciones internacionales, agencias gubernamentales, empresas privadas y otros trabajos académicos, fundamentalmente de universidades y centros de investigación. Estos documentos contienen información crítica que se ha resumido y relacionado.

La cantidad de estudios y documentos redactados sobre el cambio climático en los territorios MAC-Clima es relativamente limitada hasta la fecha en comparación con la dimensión del problema. Debido a esta limitación, no se han podido abordar en este informe todos los parámetros y variables que concurren en el fenómeno global del cambio climático, en sus dimensiones tanto físicas como sociales. Las proyecciones de cambio climático, en general, presentan deficiencias relacionadas con la escala espacial de los datos, a menudo demasiado generales. Entre ellos, el parámetro con mayor dificultad de medición, tanto a nivel regional como para cada territorio, son las proyecciones del nivel del mar y de oleaje. Finalmente, los estudios se centran generalmente en tendencias medias y rara vez se abordan proyecciones claras sobre eventos extremos, tales como tormentas y precipitaciones extremas.

A continuación, se relacionan algunos de las bases de datos de organismos internacionales más consultados en este informe:



La Organización intergubernamental para el estudio del cambio climático (IPCC) fue creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Proporciona evaluaciones periódicas de la base científica del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y opciones de adaptación y mitigación. El Quinto Informe de Evaluación (AR5, 2013) es la evaluación del cambio climático más completa realizada hasta el momento por el IPCC y el diagnóstico sobre cambio climático a escala global más completo realizado hasta el momento. El Anexo I del Quinto informe (*Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales*; IPCC, 2013) recoge los resultados de cambio climático obtenidos por integración de hasta 42 modelos, a partir del conjunto multimodelo global Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) desarrollado por Taylor et al (2012).



Interreg



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA



WORLD BANK GROUP

Climate Change Knowledge Portal

For Development Practitioners and Policy Makers

El Portal de Conocimientos sobre el cambio climático (CCKP) es un esfuerzo del Banco Mundial (BM) por crear un centro de información, datos y herramientas relacionadas con el cambio climático. El Portal proporciona una plataforma en línea para acceder a datos globales, regionales y nacionales relacionados con el cambio climático y con el desarrollo. La integración exitosa de la información científica en la toma de decisiones a menudo depende del uso de marcos de datos y herramientas flexibles que puedan proporcionar información integral a la sociedad y a los estratos políticos. El CCKP contiene conjuntos de datos ambientales, de riesgo naturales y socioeconómicos, así como productos de síntesis, como los Perfiles de adaptación climática o los Perfiles de agriculturs, que se crean y empaquetan para funciones específicas centradas en el usuario o en cada sector particular.



EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM RANGE WEATHER FORECASTS

El ECMWF (Centro Europeo para Pronósticos Meteorológicos de Mediano Alcance) ha producido el sistema ERA-Interim, que es un reanálisis atmosférico global, que está disponible para el análisis histórico desde el 1 de enero de 1979 hasta el 31 de agosto de 2019. El sistema de asimilación de datos utilizado para producir ERA-Interim se basa en una versión de 2006 del IFS (Cy31r2). El sistema incluye un análisis de 4 dimensiones (4D-Var) con una ventana de 12 horas. La resolución espacial del conjunto de datos es de aproximadamente 80 km en 60 niveles en vertical, desde la superficie hasta 0.1 hPa. Este modelo asimila observaciones de boyas, estaciones meteorológicas terrestres y de teledetección, por lo que puede proporcionar información precisa sobre las condiciones climáticas con buenos resultados en tendencias y anomalías climáticas en comparación con las observaciones directas de las estaciones. Una ventaja importante es que la serie ERA contiene parámetros oceanográficos como la altura y la dirección de las olas que se pueden usar para analizar el estado y las condiciones del mar costero.



SCHOOL OF GEOGRAPHY
AND THE ENVIRONMENT



La Escuela de Geografía y Medio Ambiente de la Universidad de Oxford elabora resúmenes de datos climáticos a nivel de país (perfiles de cambio climático) para 52 países en desarrollo, haciendo uso de los datos climáticos existentes para generar observaciones climáticas y proyecciones multimodelo disponibles a través del CMIP3 del WCRP. Para cada uno de los 52 países, existe un informe con conjuntos de mapas de cuadrícula 2.5°, diagramas y tablas sintéticas. La metodología del proyecto se describe en McSweeney et al (2010).

2.3. INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y PROYECCIONES REGIONALES

El 5º Informe de Evaluación (AR5) del Panel Internacional sobre cambio climático (IPCC) representa el trabajo más extenso sobre análisis climático y la principal fuente de información sobre proyecciones futuras a nivel global y regional. Una de las conclusiones que recoge este informe es que África es uno de los continentes más vulnerables debido a su alta exposición y baja capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático (Niang et al. 2014).

A continuación, se exponen las conclusiones de este informe, y de otros trabajos, sobre las tendencias históricas y las proyecciones de cambio sobre las principales variables climáticas.

2.3.1. TEMPERATURA ATMOSFÉRICA

Según el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (2013), a escala global:

- ✓ Cada una de las tres últimas décadas ha sido sucesivamente más cálida en la superficie de la Tierra que cualquier otra década anterior desde 1850; y en el hemisferio norte, el período 1983–2012 fue probablemente la treintena más cálida de los últimos 1400 años a un nivel de confianza media.
- ✓ Los datos combinados de temperatura de la superficie terrestre y oceánica promediados a nivel mundial, calculados por una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0.85°C [0.65 a 1.06], entre 1880 y 2012; habiendo tendencias de calentamiento superficial en casi todas las regiones del mundo.

Cambio observado en la temperatura en superficie, 1901-2012

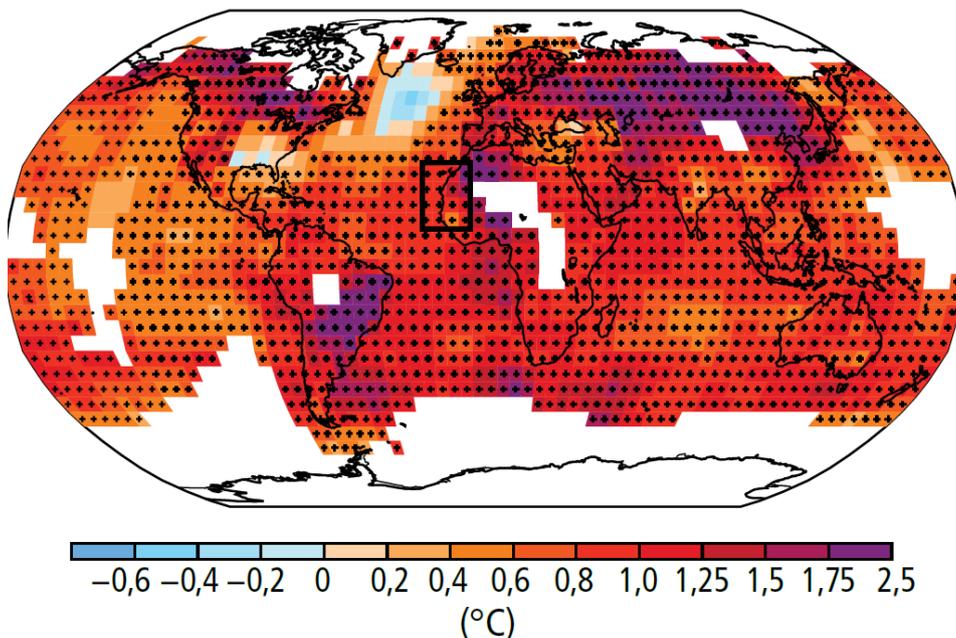


Figura 2.3.1.1 | Mapa global de los cambios observados en la temperatura en superficie entre 1901 y 2012, derivado de las tendencias de la temperatura. Los territorios MAC-Clima abarca aproximadamente el rectángulo negro. Las cuadrículas con signo + muestran que la tendencia es significativa al nivel del 10%. Las áreas en blanco no tienen disponibilidad de datos suficiente. Fuente: IPCC, 2013.

En este informe (IPCC, 2013) los territorios MAC-Clima muestran un incremento de temperatura, en términos comparativos, en torno a la media del calentamiento global en el periodo 1901-2012, con valores sensiblemente superiores, próximos a 1°C, en las áreas interiores. Las tendencias observadas en África occidental muestran un aumento de las temperaturas medias ligeramente superiores a la media mundial. Entre 1961 y 2000, el número de días fríos y noches frías disminuyó, mientras que el número de días y noches cálidos aumentó (Niang et al. 2014). Asimismo, se registró un aumento de temperatura promedio de 0.5-0.8°C en la región para el periodo 1950-2010 (USAID, 2018).

Los productos de modelización CRU (Harris et al, 2014), de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia (de resolución 0,5°), UDEL (Legates y Willmott 1990), de la Universidad de Delaware (resolución 0,5°), y ARC (Novella y Thiaw 2013), de la *African Rainfall Climatology* (resolución 1°) muestran aumentos significativos de 0,2 a 0,4° C por década en la temperatura media del periodo 1983-2010, especialmente en Senegal, Cabo Verde y costa mauritana.

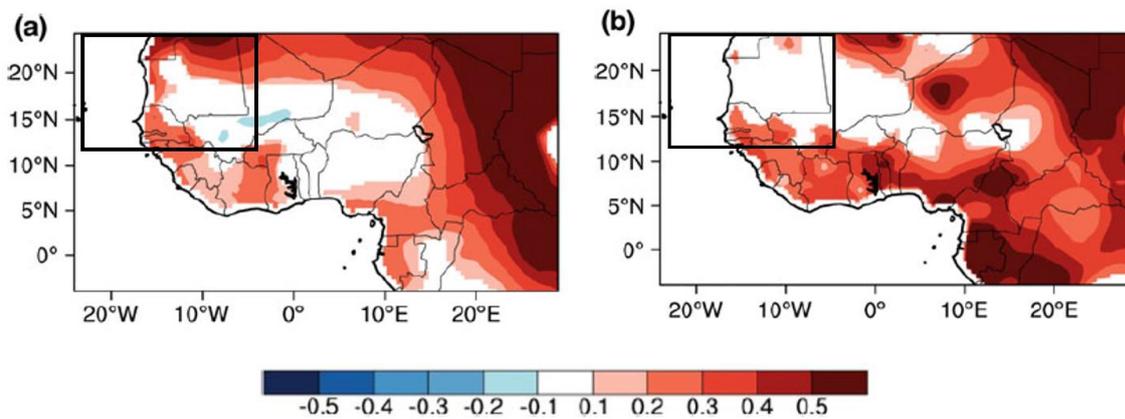


Figura 2.3.1.2 | Tendencias lineales de temperatura media estacional (mayo–septiembre) en África occidental para el período 1983-2010. Solo las áreas donde la tendencia es estadísticamente significativa al 90% están coloreadas. En recuadro negro, los territorios meridionales del área MAC-Clima (Senegal, Mauritania y Cabo Verde). A) modelo CRU de la Unidad de Investigación Climática y B) modelo UDEL de la Universidad de Delaware. Fuente: Sylla et al, 2016.

El Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales (AR5 IPCC, 2013) recoge los resultados a escala global de las proyecciones de cambio climático en forma de mapas para los diferentes horizontes temporales y escenarios RCP de concentración de gases de efecto invernadero. La región del Sahara del Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales (IPCC, 2013)

constituye un rectángulo entre 15°N-30°N, 20°W-40°E, cuyo extremo occidental abarca, a grandes rasgos, los territorios MAC-Clima (Senegal, Mauritania, Cabo verde, Canarias y Madeira).

Atendiendo a las proyecciones para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, se puede deducir que los territorios MAC-Clima serán especialmente susceptibles al aumento de las temperaturas en el contexto global, particularmente en las áreas continentales interiores. Hacia 2100, considerando el percentil 50% del modelo CMIP5, el aumento de temperatura en las áreas costeras y archipelágicas de la región podría ser de entre 1-1,5°C (RCP4.5) y 2-3°C (RCP8.5), y de entre 2-3°C (RCP4.5) y 4-5°C (RCP8.5) en las áreas continentales interiores de Senegal y Mauritania.

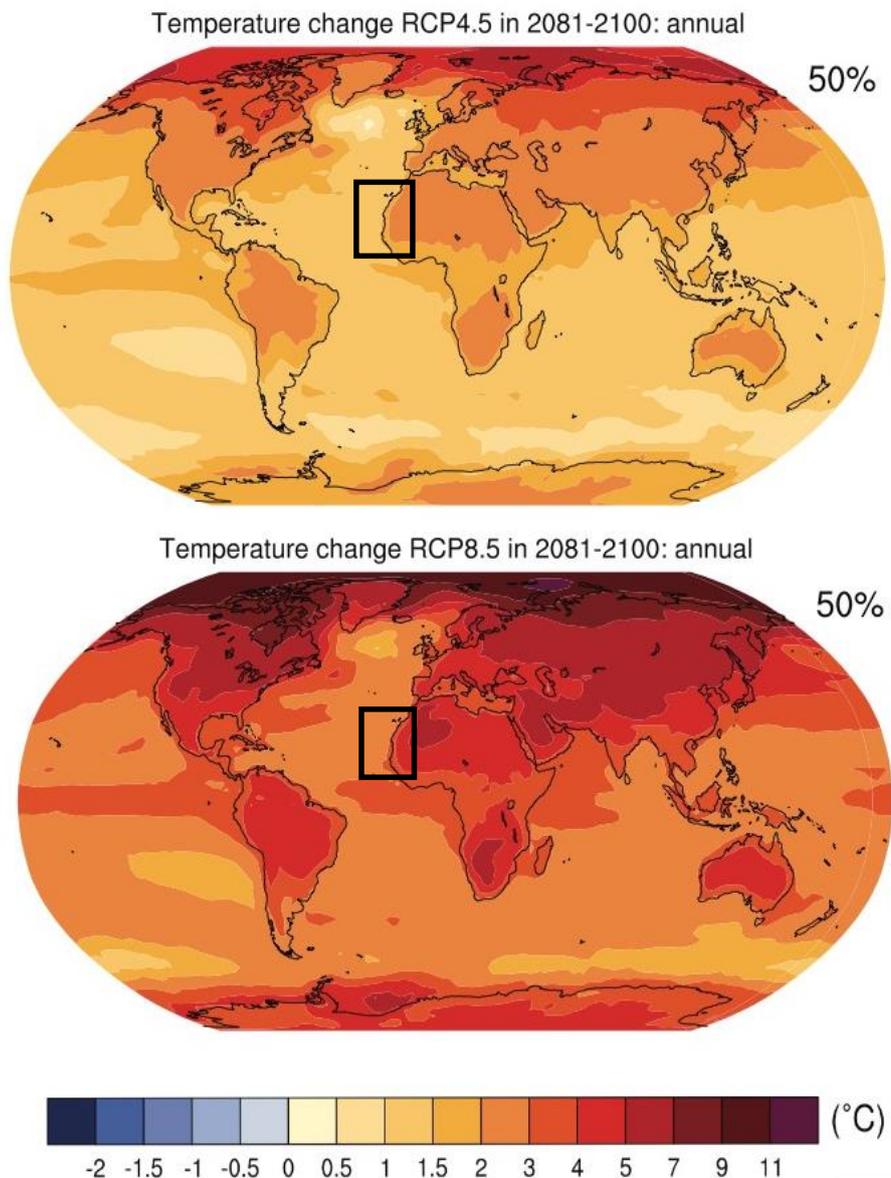


Figura 2.3.1.3 | Mapa global de las proyecciones de cambio de la temperatura atmosférica superficial del modelo CMIP5 para el horizonte 2100, bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Los territorios MAC-Clima abarcan aproximadamente el rectángulo negro. Fuente: IPCC, 2013.

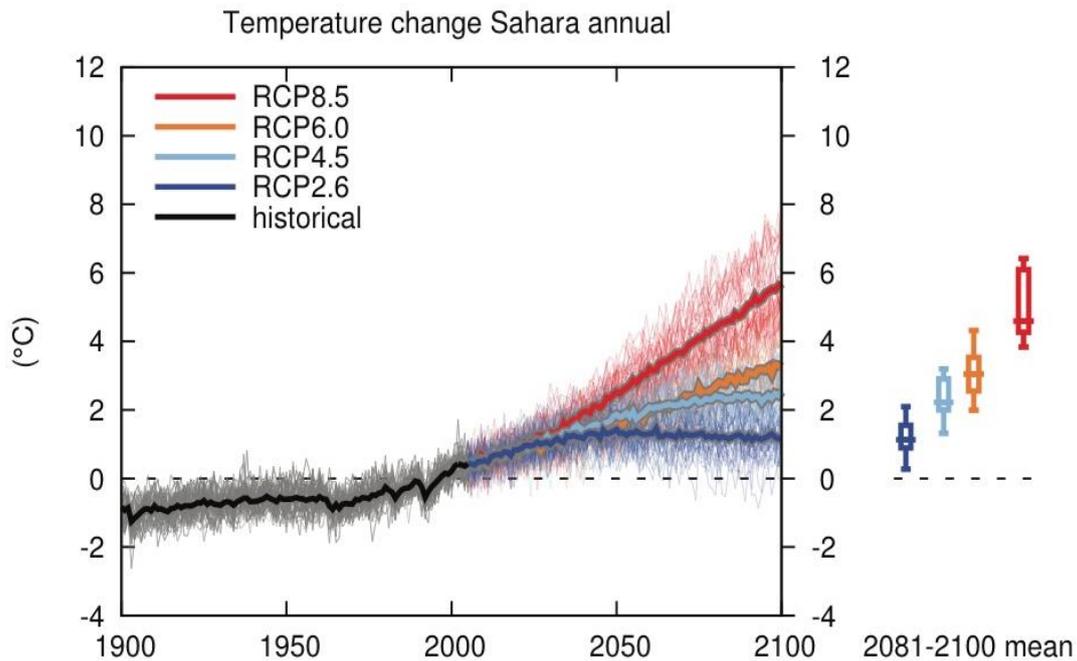


Figura 2.3.1.4 | Series anuales de cambio de temperatura relativas a 1986–2005, promediadas sobre los puntos de la malla terrestre en la cuadrícula del Sahara (15°N-30°N, 20°W-40°E.). Las líneas delgadas denotan cada paso del modelo; las gruesas, las medias. En el lado derecho se dan los percentiles 5, 25, 50 (mediana), 75 y 95 de la distribución de los cambios medios entre 2081 y 2100, en los cuatro escenarios RCP. Fuente: IPCC, 2013.

Del análisis de los mapas del Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales (IPCC, 2013) se pueden extraer las siguientes conclusiones para el área de estudio:

- (a) Las proyecciones de temperatura media marcan un ascenso progresivo de la temperatura para el conjunto de la región hasta 2100, dentro del cual:
 - (a.1.) Será mayor en los territorios continentales interiores (RCP4.5=0,5-3,0°C; RCP8.5=0,5-3,0°C) que en los territorios costeros y archipelágicos (RCP4.5=0,0-2,0°C; RCP8.5=0,5-2,0°C).
 - (a.2.) Será más intenso en los meses de verano (RCP4.5=0,0-3,0°C; RCP8.5=0,0-7,0°C) que en los meses de invierno (RCP4.5=0,0-2,0°C; RCP8.5=0,0-7,0°C).
- (b) La incertidumbre de las proyecciones, tanto en temperatura como en precipitación, aumenta conforme se amplía el horizonte temporal.

Ly et al. (2013), de AGRHYMET (Nigeria), analizaron los índices extremos de temperatura en el África occidental saheliana. Los resultados mostraron una tendencia al calentamiento general de la región entre 1960 y 2010, particularmente en lo referente al cada vez menor número de noches frías y mayor número de días y eventos cálidos.

Tabla 2.3.1.1 | Resumen numérico de las proyecciones de temperatura media para la región, de acuerdo con los percentiles 25 y 75 del modelo CMIP5. Fuente: elaborado a partir del *Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales del IPCC (2013)*.

		RCP 4.5						RCP 8.5					
		2035		2065		2100		2035		2065		2100	
Temperatura media (°C)	Percentil (%)	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
Anual	25	0,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	1,5
	75	1,0	1,5	1,5	3,0	2,0	3,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,5	3,0
Agosto-junio	25	0,0	0,5	0,5	1,5	1,0	1,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0
	75	1,0	1,5	1,5	3,0	2,0	3,0	1,0	1,5	2,0	4,0	4,0	7,0
Diciembre-febrero	25	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5	1,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0
	75	1,0	1,0	0,5	2,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0

*A, Archipiélagos (Cabo Verde, Canarias y Madeira); C, Continente (Senegal y Mauritania).

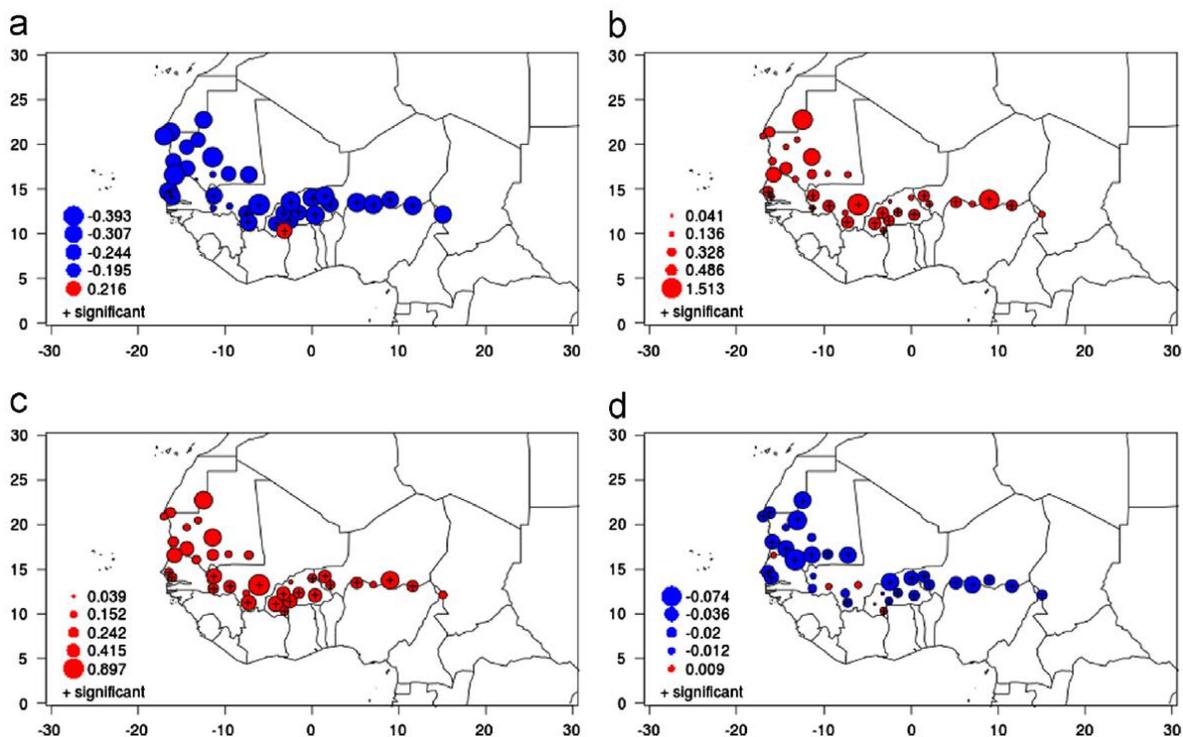


Figura 2.3.1.5 | Tendencias observadas de temperatura en África occidental desde 1960 hasta 2010. (a) Noches frías (Tn10p), (b), Días cálidos (Tx90p), (c) Olas de calor (WSDI) y (d) Rango de temperatura diurna (DTR). Fuente: Ly et al. (2013).

2.3.2. PRECIPITACIÓN

Según el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (2013), la confianza en las observaciones de cambio de precipitación promedio sobre las áreas terrestres mundiales es baja antes de 1951, y media después.

Las observaciones en los territorios MAC-Clima, para el periodo 1951-2010, son de una disminución de las precipitaciones de hasta el 50% en algunos cuadrantes, tanto en las áreas continentales interiores como en las áreas costeras y archipelágicas. Y en los países continentales una disminución en las precipitaciones totales de lluvia entre 1901 y 2013, las cuales, por ejemplo en Senegal, representaron -6%.

Cambio observado en la precipitación anual sobre tierra, 1951-2010

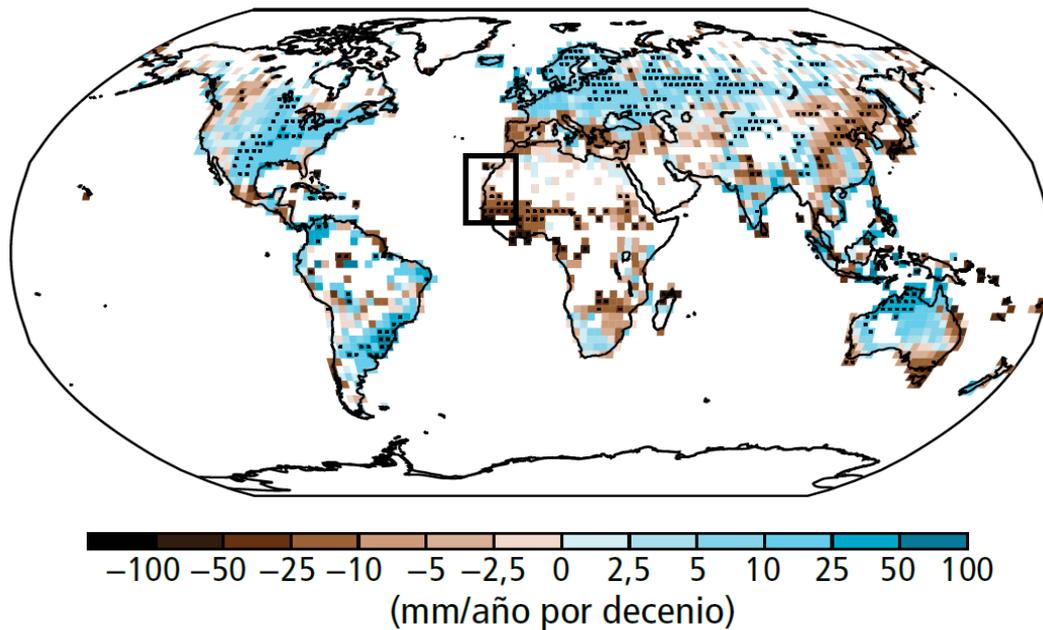


Figura 2.3.2.1| Mapas de los cambios observados en la precipitación entre 1951 y 2010 (tendencias en la acumulación anual). Los territorios MAC-Clima abarcan aproximadamente el rectángulo negro. Fuente: IPCC, 2013.

Chappell y Agnew (2004) de las universidades de Salford y Manchester (Reino Unido), cuestionan que la lluvia de verano haya disminuido en el Sahel occidental desde finales de la década de 1960. No encontraron una disminución persistente en la precipitación media anual de verano en la red de estaciones, lo que interpretaron como un posible artefacto del tratamiento estadístico y los cambios históricos de ubicación de las estaciones climáticas.

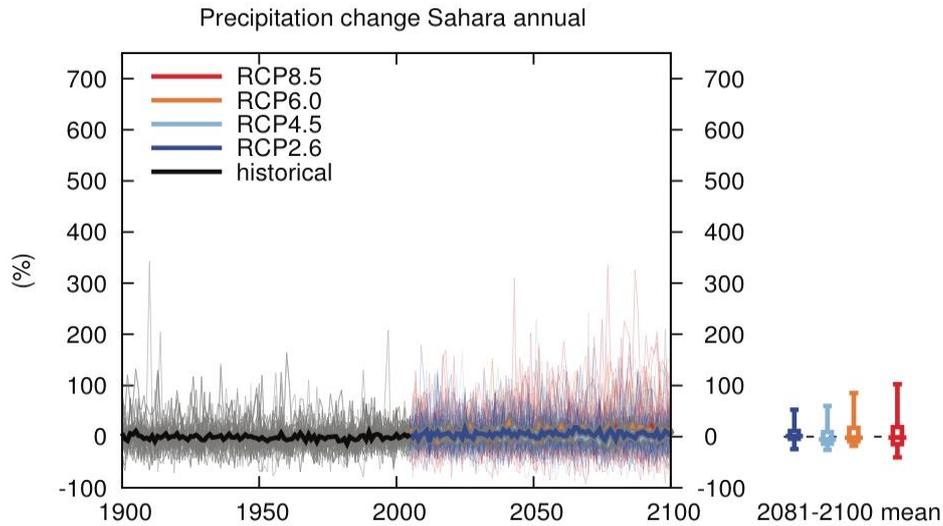


Figura 2.3.2.2 | Series anuales de cambio de precipitaciones en el periodo 1986–2005, promediadas sobre los puntos de malla terrestres en la cuadrícula del Sahara (15°N-30°N, 20°W-40°E.). Las líneas delgadas denotan cada paso del modelo; las gruesas, las medias. En el lado derecho se dan los percentiles 5, 25, 50 (mediana), 75 y 95 de la distribución de los cambios medios, entre 2081 y 2100, en los cuatro escenarios RCP. Fuente: IPCC, 2013.

En este sentido, los productos de modelización climática CRU (Harris et al, 2014), UDEL (Legates y Willmott, 1990) y ARC (Novella y Thiaw 2013), muestran aumentos significativos, de entre 0,1 y 0,5 mm por década, en la precipitación media de la zona sur de los territorios MAC-Clima (Senegal, Cabo Verde y Mauritania) entre 1983 y 2010.

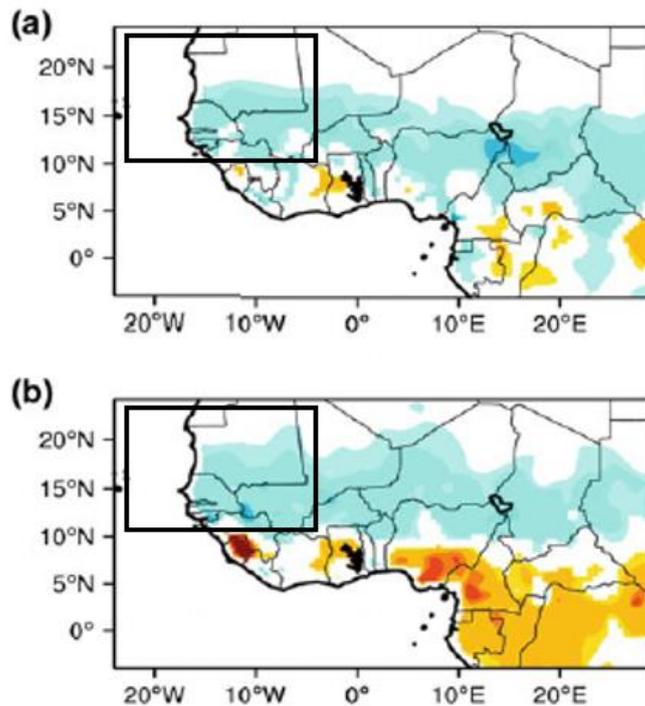


Figura 2.3.2.3 | Tendencias lineales de precipitación media estacional (mayo–septiembre) en África occidental para el período 1983–2010. Solo las áreas donde la tendencia es estadísticamente significativa al 90% están coloreadas. En recuadro negro, los territorios meridionales del área MAC-Clima (Senegal, Mauritania y Cabo Verde). A) modelo CRU de la Unidad de Investigación Climática; B) modelo UDEL de la Universidad de Delaware; C) modelo de la ARC (African Rainfall Climatology). Fuente: Sylla et al, 2016.

Ly et al. (2013), del AGRHYMET (Nigeria), tras analizar los índices extremos de precipitación en el África occidental sahariana entre 1960 y 2010, obtuvieron una tendencia a la disminución general de la precipitación anual y del número consecutivo de días lluviosos; aunque acompañados de un aumento de los episodios extremos de precipitación (lluvia acumulada en días muy lluviosos) en la última década.

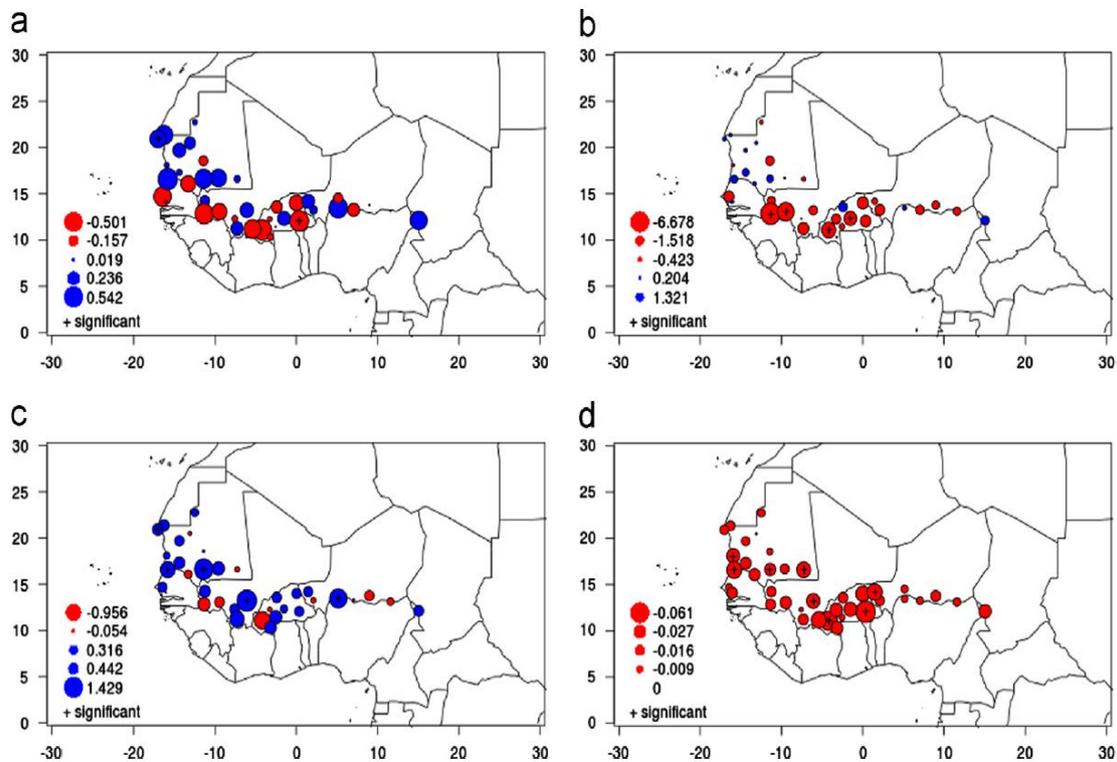


Figura 2.3.2.4 | Tendencias observadas de precipitación en África occidental sahariana desde 1960 hasta 2010: (a) precipitación acumulada de 5 días, (b) precipitación total anual, (c) lluvia acumulada en días muy lluviosos y d) número máximo de días lluviosos consecutivos. Fuente: Ly et al. (2013).

Dadas la mayor incertidumbre presente en los datos de precipitación, en relación a los de temperaturas, las proyecciones de lluvias del multimodelo global CMIP5 son menos seguras. Para grandes partes de África occidental, los modelos climáticos muestran poca consistencia sobre si la lluvia aumentará o disminuirá, y con qué amplitud lo hará; mostrando en muchos casos tendencias significativas en ambos sentidos (Hartley et al, 2016) debido a la incapacidad de los GCM (Global Change Model) para resolver la lluvia convectiva y la topografía compleja (Niang et al.2014).

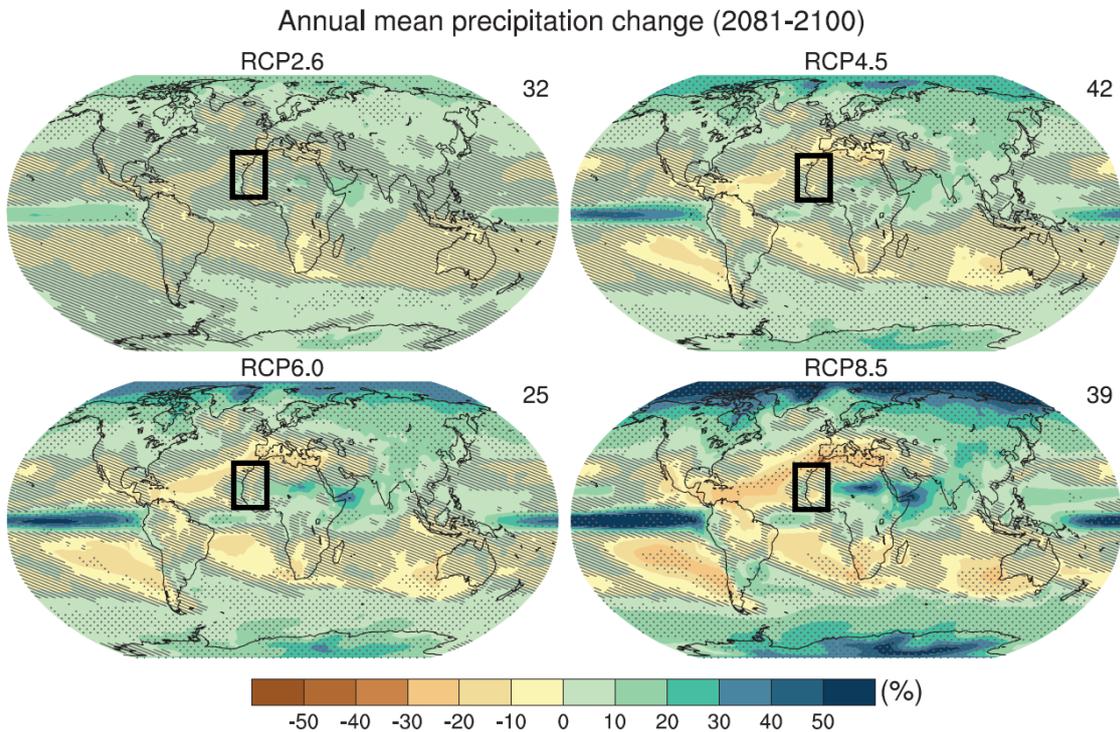


Figura 2.3.2.5 | Resultados del modelo CMIP5 para los escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 entre 2081–2100 de la variación en la precipitación media en relación con 1986–2005. El rayado indica regiones donde la señal media del modelo es inferior a la desviación estándar de los datos y el punteado indica regiones donde la señal media multimodelo es mayor que 2 veces la desviación estándar (variabilidad interna) y donde el 90% de los modelos están de acuerdo con el signo de cambio. Los territorios MAC-Clima abarca aproximadamente el rectángulo negro. Fuente: IPCC, 2013.

Del análisis de los mapas del Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales (AR5 IPCC, 2013) se pueden extraer las siguientes previsiones para los territorios MAC-Clima:

- (a) Las proyecciones de variación de la precipitación presentan una fuerte incertidumbre en los datos que impide extraer previsiones concluyentes: los percentiles 25 marcan tendencias negativas y los percentiles 75 tendencias positivas, tanto en los territorios costeros como continentales. Sin embargo, de los percentiles 50 se puede extraer un patrón de ligera disminución e incluso aumento de la precipitación media (+10%) en los territorios costeros y archipelágicos, y disminución marcada de las precipitaciones medias en los territorios continentales interiores (-20% o superior).
- (b) La incertidumbre de las proyecciones, tanto en temperatura como en precipitación, aumenta conforme se amplía el horizonte temporal.

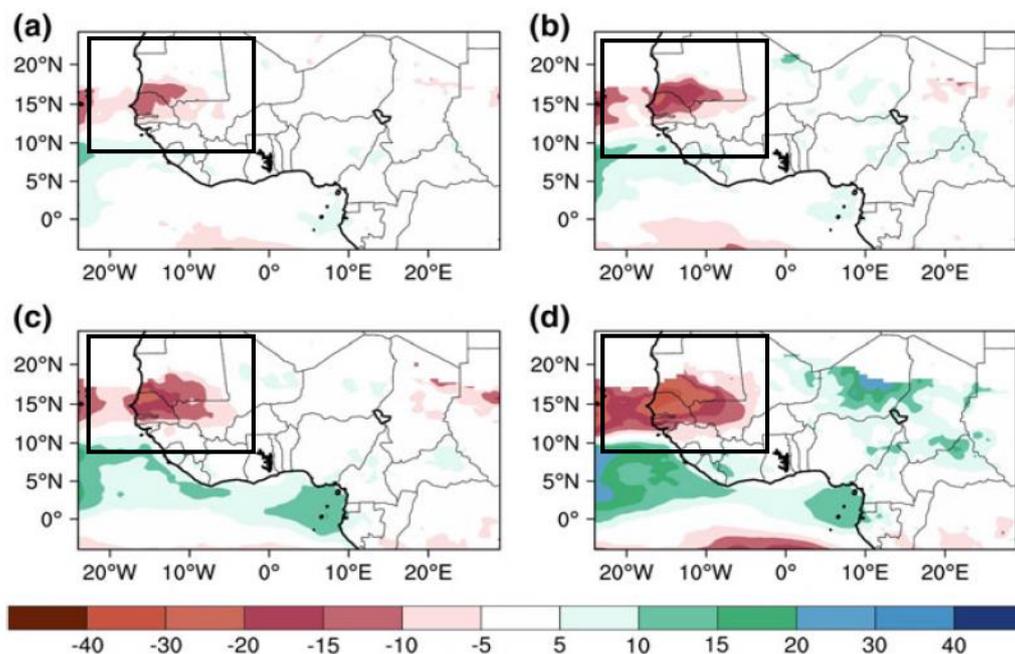
Tabla 2.3.2.1 | Resumen numérico de las proyecciones de variación de la precipitación, de acuerdo con los percentiles 25 y 75 del modelo CMIP5. Fuente: elaborado a partir del *Atlas de las proyecciones climáticas globales y regionales* del IPCC (2013).

		RCP 4.5						RCP 8.5					
		2035		2065		2100		2035		2065		2100	
Precipitación media ($\Delta\%$)	Percentil (%)	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
Anual	25	-10	-20	-20	-30	-20	-40	-10	-20	-20	-30	-30	-60
	75	+10	+20	+20	+10	+20	+10	+10	+20	+20	+10	+30	+10
Octubre-marzo	25	-20	-20	-30	-40	-30	-40	-20	-20	-20	-30	-50	-50
	75	+30	+30	+30	+30	+30	+20	+20	+30	+30	+40	+30	+40
Abril-septiembre	25	-10	-20	-10	-30	-20	-30	-10	-20	-10	-30	-10	-60
	75	+20	+20	+20	+20	+20	+10	+20	+30	+30	+30	+40	+10

*A, Archipiélagos (Cabo Verde, Canarias y Madeira); C, Continente (Senegal y Mauritania).

El programa de modelización y simulación climática multimodelo denominado CORDEX (COordinated Regional Climate Downscaling Experiments; Giorgi et al. 2009) ha generado productos de consulta disponibles para evaluar el cambio climático futuro sobre África occidental, siendo la resolución es más alta (50 km) que en CMIP5 (100 km). Estos modelos de simulación proyectan lo siguiente para la zona sur de los territorios MAC-Clima:

- ✓ Disminución de la precipitación media para todos los horizontes temporales y escenarios RCP, especialmente significativa en Senegal, Cabo Verde y sur de Mauritania.
- ✓ Aumentos en la intensidad media de los eventos de precipitación para los diferentes escenarios RCP, especialmente en Senegal.
- ✓ Aumentos significativos en la extensión máxima media de las sequías (DSL) estacionales, especialmente en Senegal, Cabo Verde y sur de Mauritania.



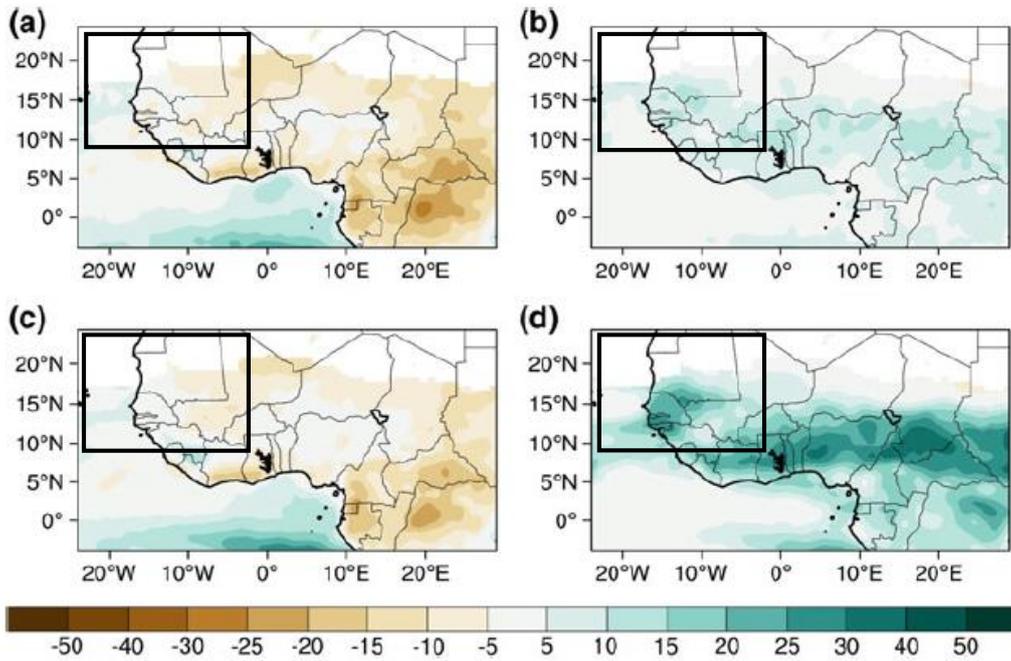


Figura 2.3.2.6 | (Superior) Cambios en la precipitación media estacional (mayo-septiembre) en un conjunto multimodelo CORDEX. (Inferior) Cambios en la intensidad media de los eventos de precipitación (mayo-septiembre) por encima del percentil 95 en un conjunto multimodelo CORDEX. Los cambios sombreados son estadísticamente significativos al 90%. (A) RCP4.5 (2036/2065); (B) RCP8.5 (2036/2065); (C) RCP4.5 (2071/2100); (D) RCP8.5 (2071/2100). Fuente: Sylla et al, 2016.

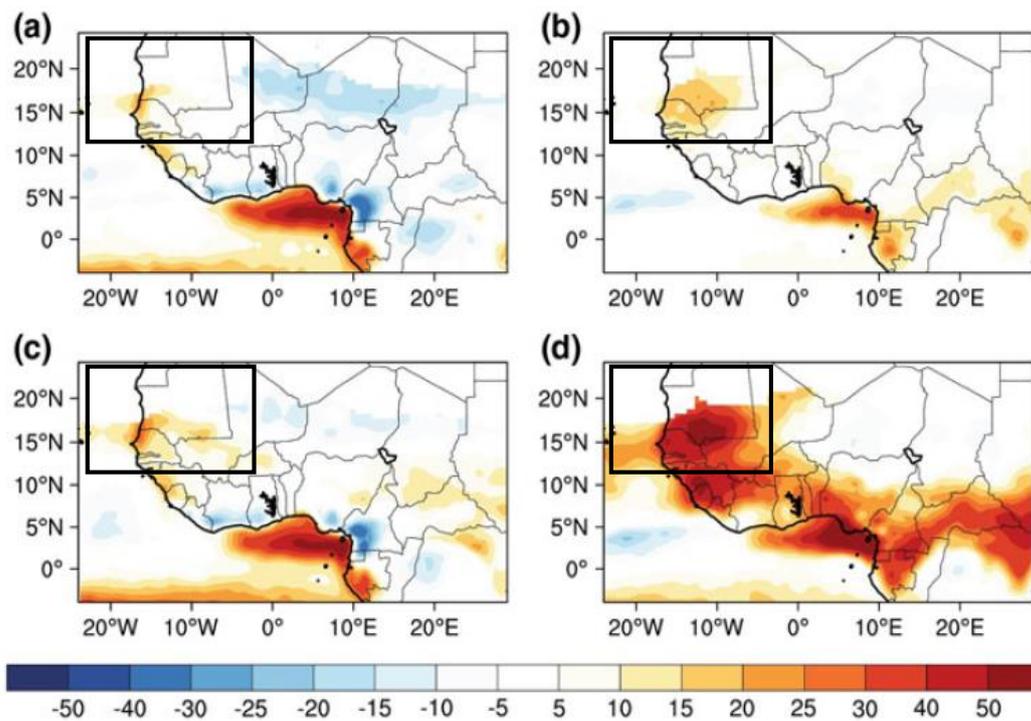


Figura 2.3.2.7 | Cambios en la extensión máxima media de la sequía (DSL) estacional (mayo-septiembre) en un conjunto multimodelo de simulaciones CORDEX. Los cambios sombreados son estadísticamente

significativos al 90%. (A) RCP4.5 (2036/2065); (B) RCP8.5 (2036/2065); (C) RCP4.5 (2071/2100); (D) RCP8.5 (2071/2100). Fuente: Sylla et al, 2016.

2.3.3. TEMPERATURA DEL MAR

El calentamiento del océano es el factor predominante del incremento de la energía almacenada en el sistema climático (aproximadamente el 90% del total).

Según el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (2013), se ha constatado que:

- ✓ El calentamiento es mayor cerca de la superficie; los primeros 75 m ya se han calentado 0.11° C [0.09 a 0.13] por década entre 1971 y 2010.
- ✓ Las mejores estimaciones indican que, al final del siglo XXI, el calentamiento del océano en los primeros 100 metros de profundidad será aproximadamente entre 0,6 °C (RCP2,6) y 2,0 °C (RCP8,5), y a unos 1,000 m de profundidad, entre 0,3°C (RCP2,6) y 0,6°C (RCP8,5).
- ✓ El calentamiento más acusado se producirá en la superficie oceánica de las regiones tropicales y subtropicales del hemisferio norte, afectando por ello de forma particular a los territorios MAC-Clima.
- ✓ Es muy probable que la circulación meridional de retorno del Atlántico, la que baña los territorios MAC-Clima, se debilite durante el siglo XXI. Las mejores estimaciones y rangos de modelos para la reducción son del 11% (1% a 24%) en el escenario RCP2,6 y del 34% (12% a 54%) en el RCP8,5.

2.3.4. NIVEL DEL MAR

Desde principios de la década de 1970, la elevación observada del nivel medio global del mar se ha debido principalmente a la combinación de la pérdida de masa de los glaciares (manto de hielo de Groenlandia y la Antártida) y la expansión térmica del océano provocada por el calentamiento de la masa de agua.

Según el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (2013), a escala global:

- ✓ La tasa de aumento del nivel del mar, recogida con mareógrafos y altímetros satelitales desde mediados del siglo XIX, ha sido mayor que la tasa media durante los dos milenios anteriores. Esta tasa fue de 1.7 [1.5 a 1.9] mm año⁻¹ entre 1901 y 2010, 2.0 [1.7 a 2.3] mm año⁻¹ entre 1971 y 2010, y 3.2 [2.8 a 3.6] mm año⁻¹ entre 1993 y 2010.
- ✓ Durante el período 1901 a 2010, el nivel medio global del mar ha aumentado en 0.19 m [0.17 a 0.21].
- ✓ El nivel medio global del mar seguirá aumentando durante el siglo XXI. En todos los escenarios RCP, es muy probable que la tasa de elevación del nivel del mar sea mayor que

la tasa observada de 2,0 [1,7-2,3] mm/año durante 1971-2010, con una tasa de elevación en el escenario RCP8,5 de 8 a 16 mm/año durante 2081-2100.

- ✓ Las proyecciones señalan que alrededor del 70% de las costas de todo el mundo experimentarán un cambio de nivel del mar de hasta un $\pm 20\%$ del valor medio mundial.

La elevación del nivel del mar no es ni será uniforme en las distintas regiones. En las salidas de los modelos globales CMIP5, los territorios MAC-Clima registran previsiones de elevación del nivel de mar relativamente más elevadas que el nivel medio de ascenso global para el periodo 1986-2100. El rango de la subida del nivel medio del mar en la región, según los modelos globales CMIP5, será de:

- ✓ 0,4-0,5 m para el escenario RCP2.6.
- ✓ 0,4-0,6 m para el escenario RCP4.5.
- ✓ 0,5-0,6 m para el escenario RCP6.0.
- ✓ 0,6-0,7 m para el escenario RCP8.5.

Según la literatura (IPCC 2013, CSE y UICN 2014), en toda la región de África Occidental, se espera que el nivel del mar aumente:

- ✓ 0.26 m en 2050 y 0.47 m (RCP 4.5).
- ✓ 0.30 m en 2050 y entre 0.52 y 0.98 m en 2100 (RCP 8.5).

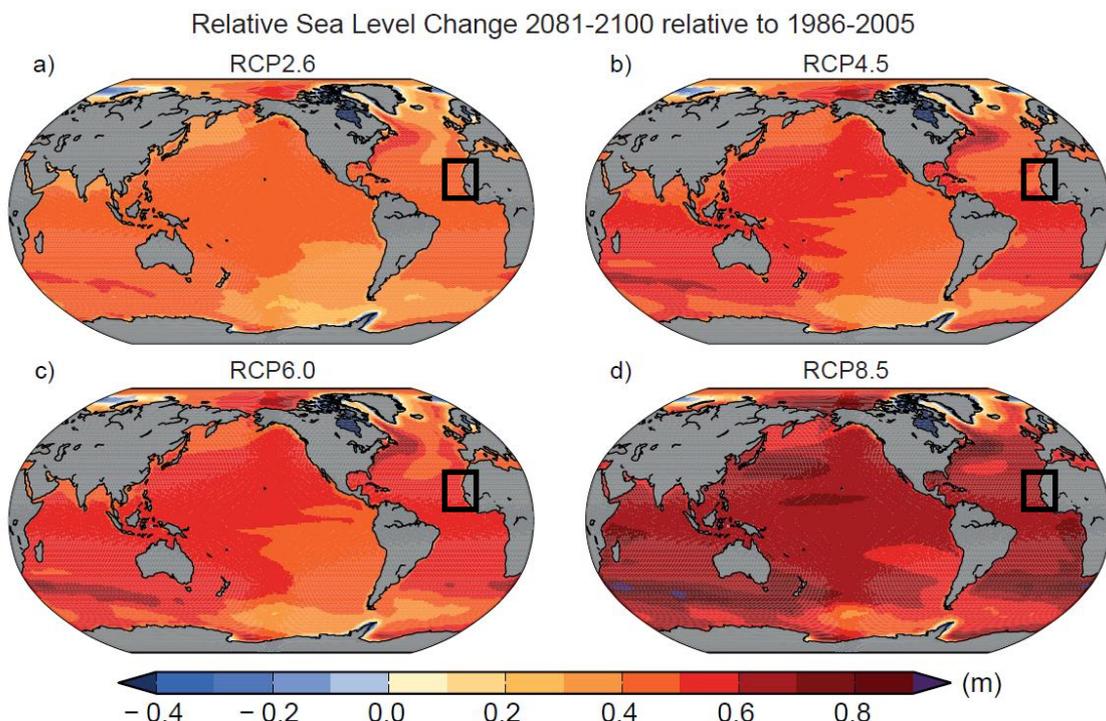


Figura 2.3.4.1 | Proyección de cambio relativo del nivel del mar (metros) evaluado a partir de 21 modelos globales (multimodelo CMIP5) para los escenarios RCP (a) 2.6, (b) 4.5, (c) 6.0 y (d) 8.5, entre 1986-2005 y 2081-2100. Cada mapa incluye los efectos de la carga atmosférica, el hielo te-

restre, el ajuste isostático glacial (GIA) y las fuentes de agua terrestre. Los territorios MAC-Clima quedan encuadrados en negro. Fuente: IPCC, 2013.

2.3.5. OLEAJE Y TEMPORALES

Las marejadas ciclónicas y los temporales marítimos pueden contribuir aún más a los cambios del nivel del mar, pero el pequeño número de estudios regionalizados y la incertidumbre en los cambios de los ciclones tropicales y su incidencia en latitudes medias, implica que hay poca confianza todavía en las proyecciones de cambio en los regímenes de oleaje a nivel regional (Wong et al, 2014). El IPCC, por su parte, no incluye en sus informes de evaluación proyecciones de oleaje a gran escala, debido a la gran complejidad de los modelos hidrodinámicos y a la necesidad de un desarrollo específico de los mismos para cada región particular (*downscaling*).

Se sabe que los ciclones tropicales del Atlántico, que tienen como área de generación preferente la región marina entre Cabo Verde y Senegal, están llegando con más frecuencia a latitudes más altas de la región macaronésica, como Canarias y Madeira, tras su paso por el Caribe. Estos ciclones traen alturas de ola y mareas meteorológicas que rompen los periodos de retorno estadísticos, causando daños constantes en los asentamientos humanos, medios de producción e infraestructuras esenciales (UEMOA, 2017).



Figura 2.3.5.1 | Caminos de ciclones tropicales bien desarrollados desde el atlántico medio, se mudan más del este al noroeste. Fuente: informe global de evaluación de riesgo UNISDR (2015).



3.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES

Senegal tiene un clima saheliano (árido) en el norte y un clima subguineano (tropical húmedo) en el sur y se caracteriza por la alternancia de una estación seca (de noviembre a mayo) y una estación húmeda (de junio a octubre) controladas por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ). Mientras que las zonas áridas reciben un total de precipitaciones de menos de 300 milímetros por año, el sur lluvioso recibe un promedio de 1,200 mm/año. La lluvia es muy variable tanto en las escalas de tiempo interanuales como entre décadas. Las temperaturas son bastante homogéneas en todo el país. De octubre a noviembre y de mediados de febrero a abril, las temperaturas más altas alcanzan los 26°C. De julio a septiembre la temperatura alcanza alrededor de 30°C. La media anual para Senegal fue de 27.8°C para el período 1960-1990, con promedios mensuales en las estaciones más calurosas de hasta 35°C.

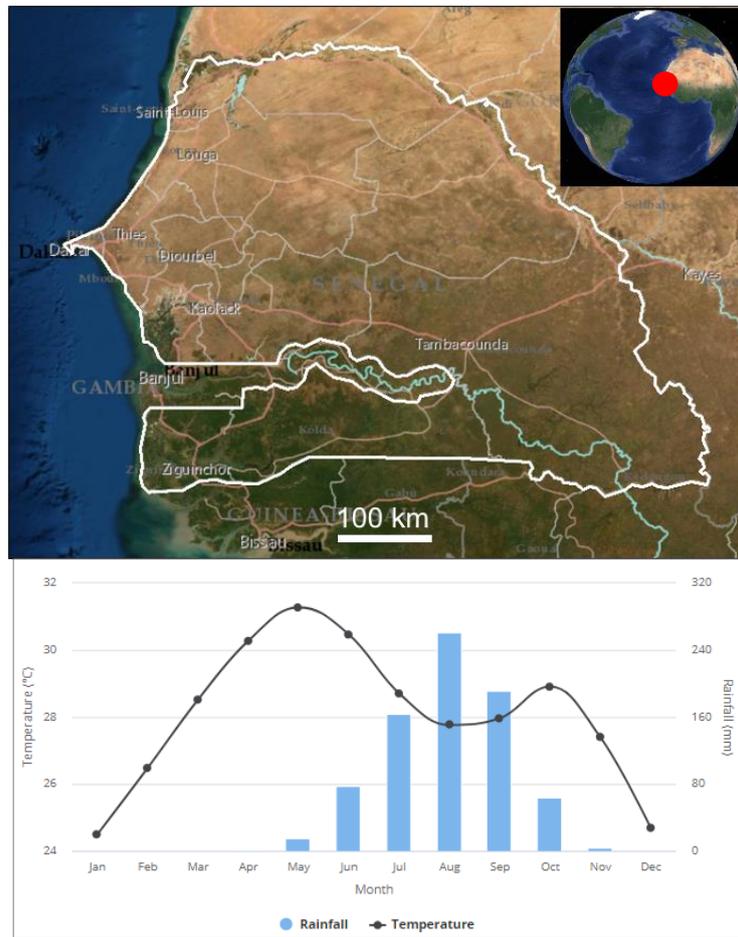


Figura 3.1.1 | Mapa de Senegal sobre imagen de satélite y climograma (temperatura y precipitación).

En cuanto a las condiciones oceanográficas, la costa está bañada por dos corrientes de características térmicas distintas: la Corriente fría de Canarias, del norte, y la corriente cálida Ecuatorial, del sur. Senegal presenta una temperatura marina por encima de 20°C todo el año. Las marejadas tienen tres procedencias principales: de NNW, que ocurren todo el año, de SSW, que aparecen durante el período invernal, y de W, que ocurren alrededor de noviembre. Las mareas son semidiurnas con alturas que van desde + 1,60 m hasta -0,50 m, con una amplitud media de alrededor de 1 m (Diaw et al.2016). La costa de Senegal se extiende a lo largo de 531 km y concentra la mayor parte de la población (60%) y de los recursos económicos (68% del PIB). Se divide en una zona sur, de manglar (desembocaduras de grandes ríos), central, mayoritariamente rocosa (el cabo verde), y norte, fundamentalmente arenosa.

3.2. TEMPERATURA DEL AIRE

3.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Según los datos recopilados en el Portal del Conocimiento del cambio climático (CCKP, Banco Mundial) la temperatura media anual en Senegal ha aumentado 0.9°C desde 1960, a una tasa promedio de 0.20°C por década. Los datos disponibles indican que el número promedio de noches "calientes" por año también aumentó un 7.3% entre 1960 y 2003.

Los resultados de ERA Interim para Senegal muestran que la temperatura media en el período 2008-2017 disminuyó 0.36°C durante los meses de invierno (diciembre-febrero) y aumentó 0.05°C durante los meses de verano (junio-agosto) en comparación con el período de referencia 1986-2005. En este sentido, los datos recogidos la estación de Dakar muestran un aumento de la temperatura media anual de 0.02°C por año en dicho período.

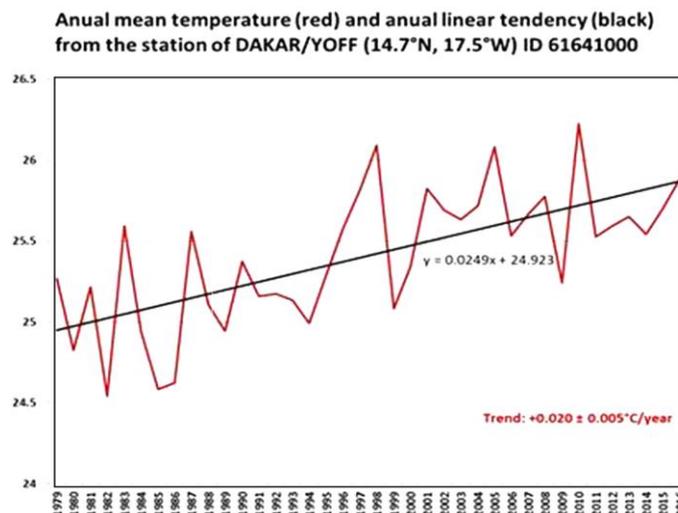


Figura 3.2.1.1 | Aumento de la temperatura media en la estación de Dakar a una tasa de 0.02°C por año en el periodo 1979-2016.

Durante el periodo 1991-2015, los meses más cálidos fueron de marzo a julio, con temperaturas más bajas en verano, coincidiendo con la estación lluviosa, y con un nuevo pico en octubre. Los meses más fríos son de diciembre a enero, pero la temperatura media permanece por encima de los 24°C durante este periodo.

Según el análisis climático de 20 estaciones de Senegal, de Fall et al. (2006), de la Universidad de Purdue (EEUU), entre 1971-98 la temperatura del aire mostró una importante tendencia al calentamiento en todo el país, excepto en el sureste (aunque la tendencia en esta zona no fuese estadísticamente significativa).

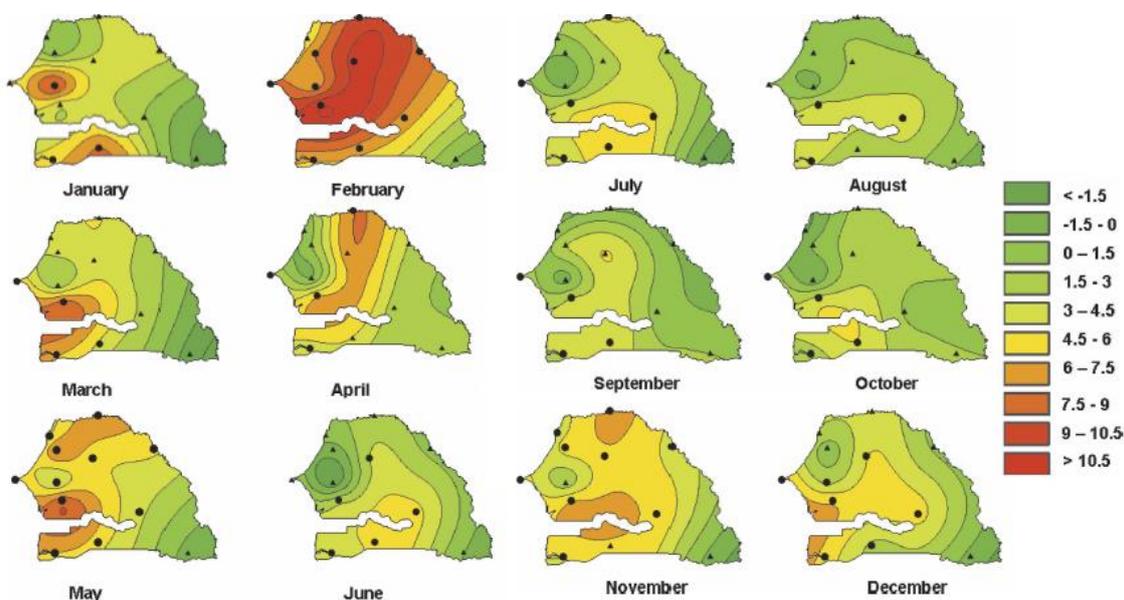


Figura 3.2.1.2 | Tendencias medias de la temperatura mensual (1971–98). Los puntos representan las estaciones cuyas tendencias son significativas al nivel de confianza del 95%, utilizando la prueba t. Los triángulos representan estaciones con tendencias que no son significativas. Fuente: Fall et al, 2006.

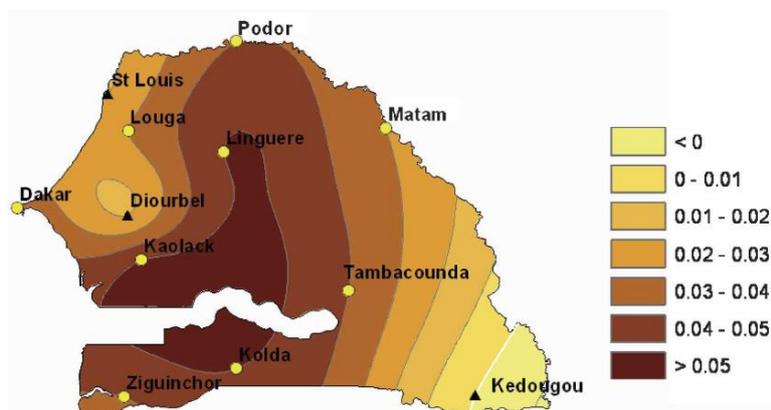


Figura 3.2.1.3 | Tendencias medias anuales de temperatura en relación con el período 1971–98. Los valores negativos (en el sureste) están marcados por la línea continua blanca. Los puntos amarillos representan las estaciones cuyas tendencias son significativas al 95%, utilizando la prueba t.

zando la prueba t. Los triángulos negros representan estaciones con tendencias que no son significativas. Fuente: Fall et al, 2006.

McSweeney et al (2010), reportan un aumento de la temperatura media anual de Senegal de 0.9°C desde 1960, o una tasa promedio de aproximadamente 0.20°C por década. Estos datos serían consistentes con los cambios reportados para el conjunto de África occidental, según los cuales las temperaturas promedio habrían aumentado aproximadamente 1°C en los últimos 50 años (Daron, 2014).

Por su parte, Faye (2018), de la Université Assane SECK de Ziguinchor (Senegal), encontró una evolución casi estable de las temperaturas en la estación de Dakar desde 1960 hasta 1994, pero un aumento muy significativo después de 1994, con un promedio de 0.9°C intensificado en la estación seca (1°C) y en las temperaturas mínimas (1°C).

3.2.2. PROYECCIONES

Todas las proyecciones climáticas para Senegal muestran un claro aumento de la temperatura y una variabilidad bastante baja en los resultados que demuestra la consistencia de la tendencia de los modelos. Se espera un mayor aumento de las temperaturas durante los meses de invierno en lugar de los meses de verano.

- ✓ Para el horizonte temporal de 2030, la temperatura aumentará entre 0.9° y 1.07° C (con una variabilidad de 0.55° -1.49° C) bajo un RCP 4.5 y más de 1°C (con una variabilidad de 0.62° -1.66°C) según el RCP 8.5, con un mayor aumento durante el período diciembre-febrero.
- ✓ En 2050, se espera que la temperatura aumente en un promedio de 1.44°C bajo un RCP 4.5 (con una variabilidad de 0.75° -1.86°C) y entre 1.78° y 2.17°C bajo un RCP 8.5 (con una variabilidad de 1.13° -2.75° C).
- ✓ En 2100 se pronostica un aumento de 2°C bajo un RCP 4.5, mientras se espera un aumento de casi 4 ° C bajo un RCP 8.5 (con una variabilidad de 2.93° -5.7°C).

Aunque las proyecciones futuras plantean un claro aumento de la temperatura, las previsiones para el final del siglo presentan una variabilidad bastante alta en comparación con los horizontes temporales más cercanos. Las proyecciones del IPCC están en conformidad con las variaciones térmicas recientes observadas en Senegal, que señalan un aumento de las temperaturas durante la estación fría más intenso que durante la estación cálida.

Las proyecciones de Tall et al (2016) para mediados de siglo (2041– 2060) y finales (2080-2099), utilizan un conjunto multimodelo de alta resolución bajo dos escenarios de concentración representativas (RCP4.5 y RCP8.5). Los resultados indican que el calentamiento conllevará un aumento sustancial (de entre 10%-50%) de la demanda de agua de la atmósfera, con el consiguiente incremento de la evapotranspiración.

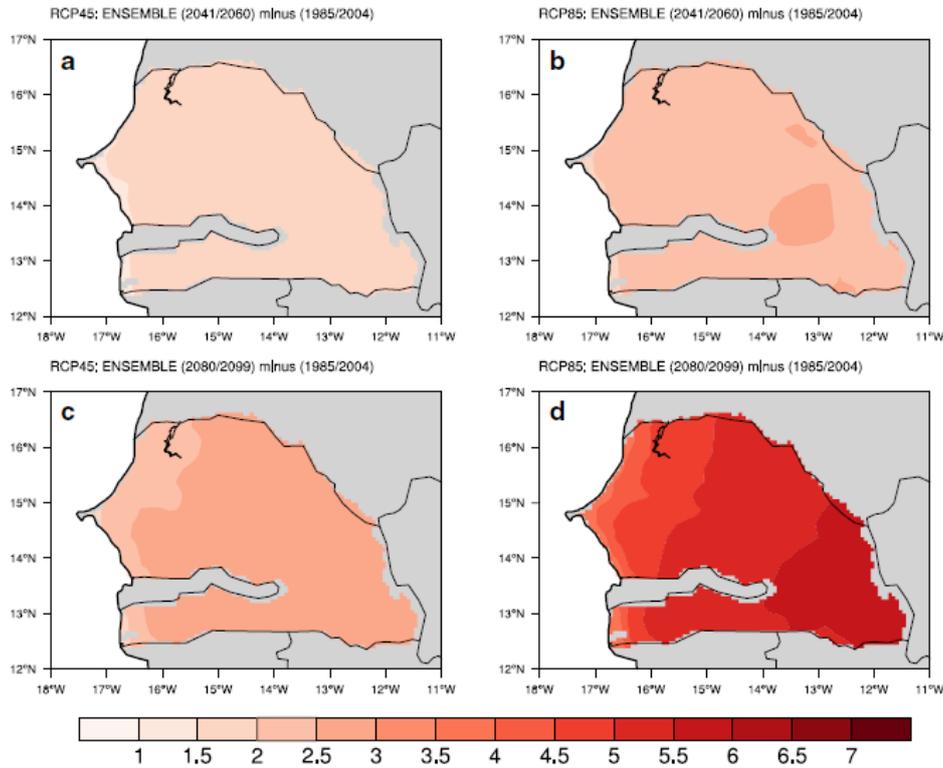


Figura 3.2.2.1 | Cambios en la temperatura media anual en Senegal en relación con el período de referencia para mediados de siglo (2041–2060) y finales (2080–2099), para RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: Tall et al, 2016.

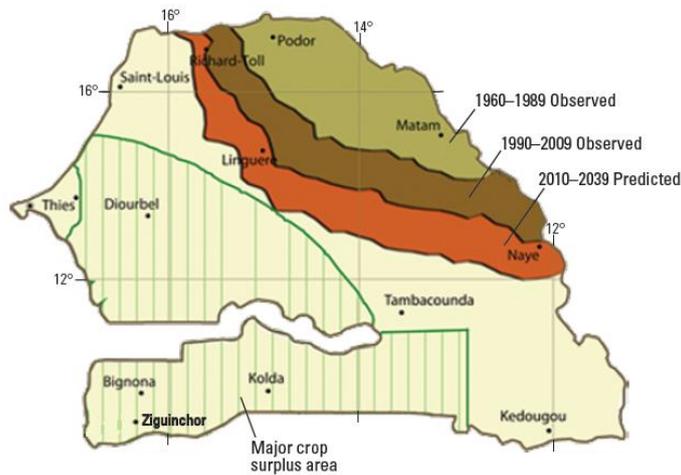


Figura 3.2.2.2 | cambio climático en Senegal: ubicación promedio de las isotermas de 30° celsius de junio a septiembre para 1960–1989 (marrón claro), 1990–2009 (marrón oscuro) y 2010–2039 (naranja). Los polígonos verdes en primer plano muestran las principales regiones productoras de mijo y maíz. Fuente: Famine Early Warning Systems Network—Informing Climate Change Adaptation Series.

3.3. PRECIPITACIONES

3.3.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

La detección de cambios en los patrones de lluvia en África occidental es un desafío debido a la variabilidad natural de la región en las distintas escalas temporales, así como a las limitaciones existentes en la disponibilidad de datos (Daron, 2010). La lluvia saheliana se caracteriza por una alta variabilidad interanual e interdecadal, lo que dificulta la identificación de tendencias a largo plazo.

Los datos de Era Interim para Senegal reflejan la relación indirecta entre las tendencias de lluvia y temperatura en Senegal durante el período 1991-2015: a partir de enero, las temperaturas comienzan a aumentar cuando las precipitaciones son muy bajas o ausentes, mientras que durante los meses de verano la temperatura tiende a descender acompañada de un aumento de las precipitaciones.

En términos generales, la precipitación estacional media ha disminuido -0.8 ± 0.2 mm por temporada (de junio a octubre) de 1950 a 2016. Sin embargo, entre 1979 y 2016, se registró un aumento de 0.9 ± 0.3 mm por temporada. De hecho, los datos de Era Interim registraron un aumento de 0.77 mm/mes en los últimos diez años (2008-2017, durante el período junio-agosto, en comparación con el período 1986-2005).

Koudahe et al. (2017) analizaron conjuntos de datos de lluvia diaria de 4 estaciones meteorológicas en el sur de Senegal para el período 1922-2015, obteniendo:

- ✓ Una tendencia decreciente en la precipitación anual en todos los lugares de estudio para el período 1922-2015.
- ✓ Dos patrones claros en la serie anual de precipitaciones: una disminución de la tendencia para el período 1922-1979 y una tendencia creciente para el período 1980-2015.
- ✓ Una tendencia creciente en la referencia anual de evapotranspiración y una tendencia general hacia una mayor aridez.

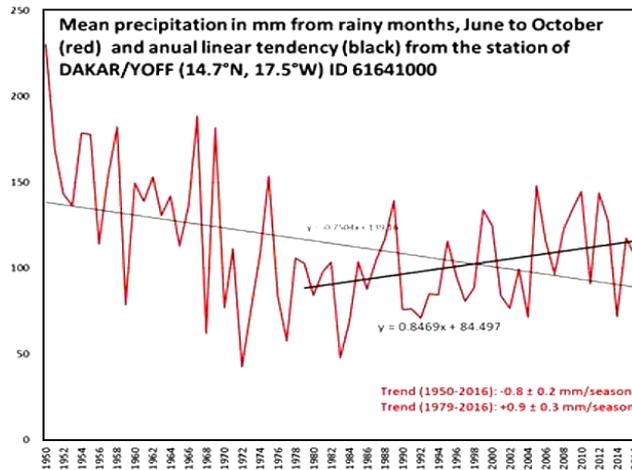


Figura 3.3.1.1 | Serie temporal sobre precipitaciones estacionales (junio-octubre) de 1950-2016 con tendencias para diferentes periodos en la ubicación de la estación cercana a la ciudad de Dakar.

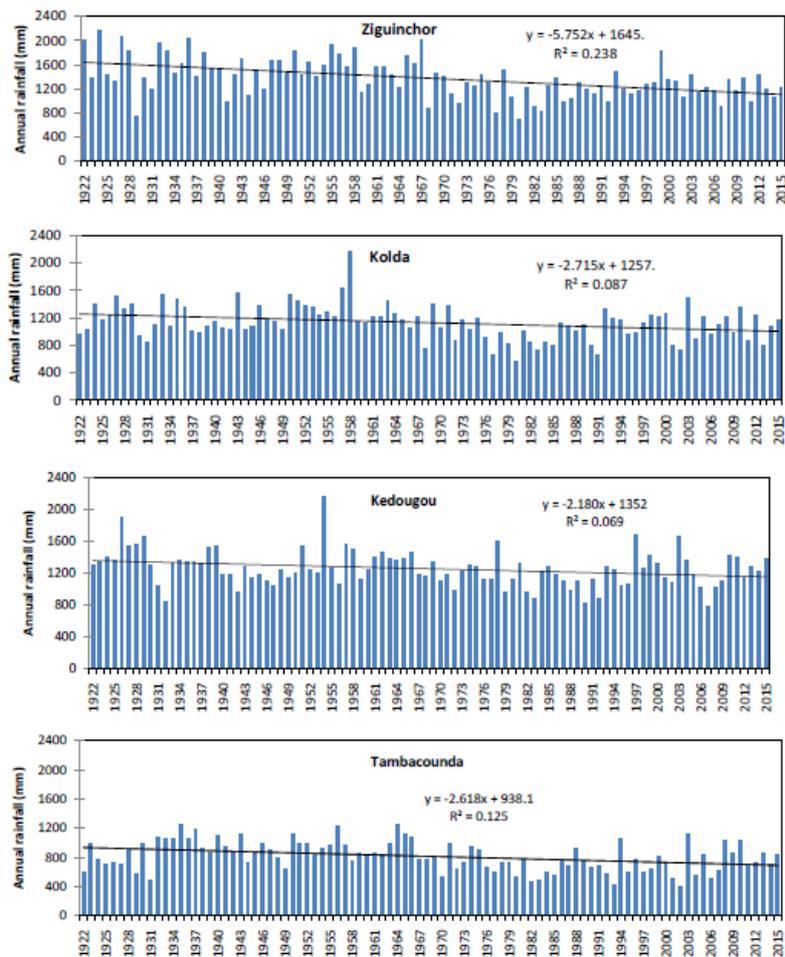


Figura 3.3.1.2 | Variación en la precipitación total anual en Ziguinchor, Kolda, Kedougou y Tambacounda durante el período 1922-2015. Fuente: Koudahe et al, 2017.

En contraste con este y otros estudios a escala regional, el análisis climático de Fall et al (2006), de la Universidad de Purdue (EEUU), mostrarían que la precipitación en Senegal no ha seguido una tendencia negativa y que se ha mantenido prácticamente sin cambios entre 1971-98, con algunas estaciones que muestran una tendencia positiva en las regiones del noreste y suroeste.

3.3.2. PROYECCIONES

Las proyecciones climáticas futuras de Senegal indican una clara tendencia decreciente de las precipitaciones. A diferencia de la temperatura, se espera que las precipitaciones sean más altas durante los meses de invierno y disminuyan significativamente durante el verano.

- ✓ Para el horizonte temporal 2030, se espera que las precipitaciones mensuales disminuyan 2.8 mm bajo un RCP 4.5 con una diferencia sustancial entre los meses de invierno (-0.05 mm) y los meses de verano (-5.6 mm), con valores que oscilan entre -14.86 mm y +7.8 mm. Bajo un RCP 8.5, la tendencia es similar y se espera que las precipitaciones disminuyan 2.35 mm (con un rango de -13.6 / + 12.54 mm).
- ✓ Las proyecciones para 2050 muestran una disminución entre -0.04 y -3 mm, con valores que van desde -16.2 a +12.17 mm bajo el RCP 4.5 y una disminución de casi -3.2 mm bajo el RCP 8.5 con un rango de -17.13 / + 18.2 mm.
- ✓ Para finales de siglo, se espera una disminución de casi 3 mm bajo RCP 4.5, aunque en los datos muestran un rango alto de valores de entre -16.82 y +26.03 mm). Para el mismo horizonte temporal, se proyecta una disminución de -7.5 mm bajo RCP 8.5 con una disminución mucho mayor durante los meses de verano (-15 mm) en lugar de los meses de invierno (-0.1 mm). El valor medio muestra un rango entre -33.05 / +16.35 mm. En tales casos, los resultados de la proyección de precipitación deben tomarse con extrema precaución debido a la alta incertidumbre.

Las proyecciones de Tall et al (2016) para mediados (2041– 2060) y finales del siglo XXI (2080-2099), utilizando un conjunto multimodelo de alta resolución sobre los escenarios de concentración representativas RCP4.5 y RCP8.5, indican una tendencia hacia una mayor humedad para mediados de siglo (10 a 25% más) y una tendencia posterior a condiciones de mayor sequedad a finales de siglo (más del 50%).

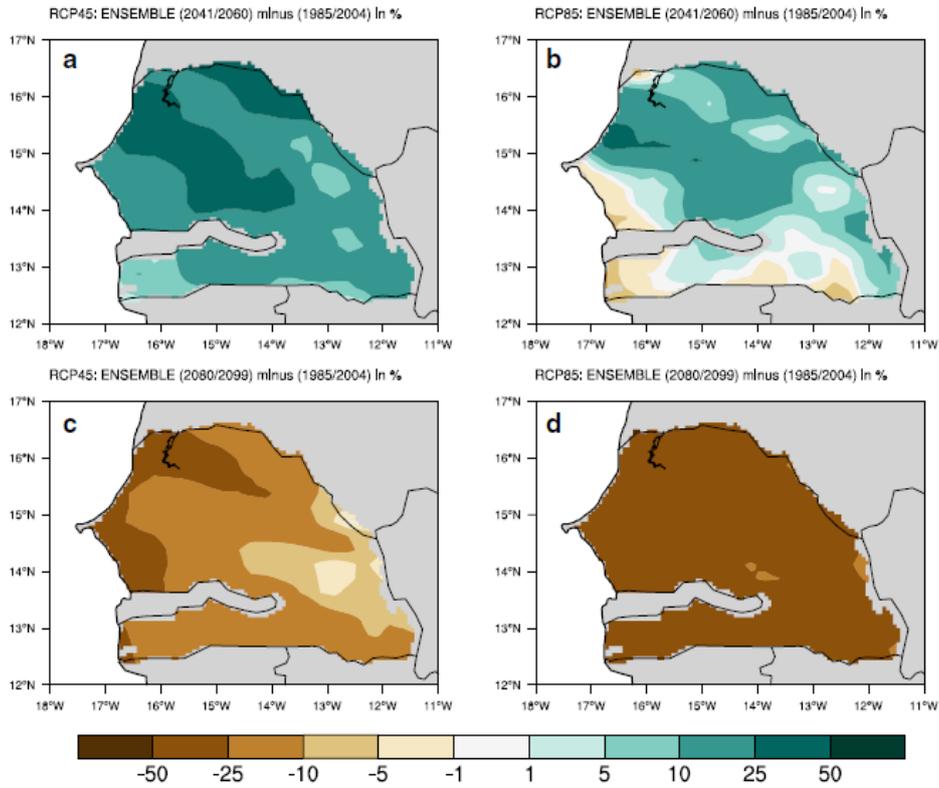


Figura 3.3.2.1 | Cambios en la precipitación media anual en Senegal en relación al periodo de referencia para mediados (2041–2060) y finales de siglo (2080–2099), bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: Tall et al, 2016.

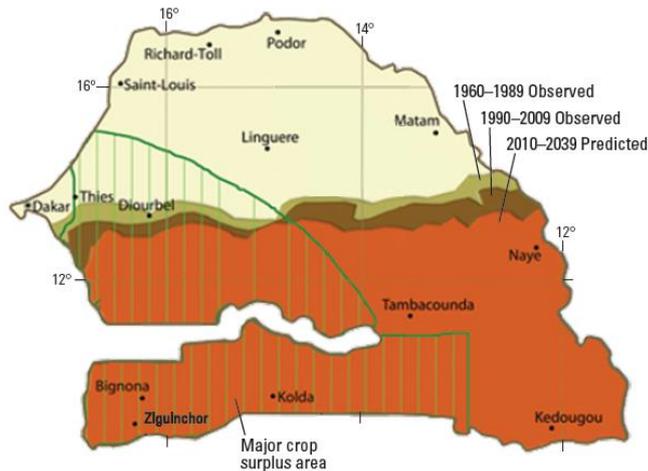


Figura 3.3.2.2 | Cambio climático en Senegal: ubicación promedio de las isoyetas de lluvia de 500 milímetros de junio a septiembre para 1960–1989 (marrón claro), 1990–2009 (marrón oscuro) y 2010–2039 (naranja). Los polígonos verdes en primer plano muestran las principales regiones productoras de mijo y maíz. Fuente: Famine Early Warning Systems Network—Informing Climate Change Adaptation Series

3.4. NIVEL DEL MAR

3.4.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Sobre la base de los registros del mareógrafo de Dakar, se considera que, durante el siglo pasado, el aumento del nivel del mar se produjo a un promedio de 1.4 mm por año (MEPN, 2006).

Según las mediciones de satélites de la ESA proporcionadas por CCKP, se percibe un aumento de 0.25 ± 0.06 cm por año de 1992 a 2007. Suponiendo que esta tendencia anual permanezca constante en el período de 15 años, de 1992 a 2007, el cambio total del nivel del mar proyectado es de 3.7 ± 1.3 cm. Estos números se obtienen de la recta de regresión de los datos ($y = 0.25x - 0.5$) con propagación matemática de la incertidumbre de la pendiente (± 0.06 cm/año) y de la incertidumbre de compensación (± 0.5 cm).

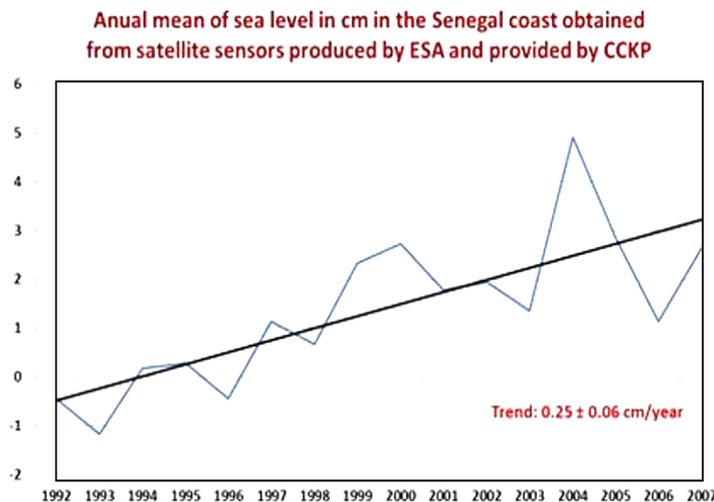


Figura 3.4.1.1 | Serie temporal y tendencia de la media anual del nivel del mar en la costa de Senegal en el periodo 1992-2007.

3.4.2. PROYECCIONES

Según las mediciones de los datos de satélite de la ESA proporcionadas por CCKP, se percibe un aumento de 0.25 ± 0.06 cm por año de 1992 a 2007. Suponiendo que esta tendencia anual permanezca constante en todo el período de 15 años, de 1992 a 2007, el cambio total del nivel del mar es de 3.7 ± 1.3 cm. Estos números se obtienen de la línea de regresión ($y = 0.25x - 0.5$) que se muestra, con propagación matemática de la incertidumbre de la pendiente (tendencia) (± 0.06 cm/año) y la incertidumbre de compensación (± 0.5 cm).

Según los datos proporcionados por Egis International, en 2030 el nivel del mar aumentará 20 cm bajo un RCP 8.5. En 2050 se espera un aumento de 25 cm para un RCP 4.5 (Niang et al. 2014) con un rango de + 7 / + 39 cm, mientras que para RCP 8.5 los datos muestran un aumento de +30 cm. En 2100, el nivel del mar se elevará +86 cm bajo un RCP 4.5, aunque en el conjunto medio se muestra un rango más alto de +66 / + 111 cm. También se muestra un amplio rango de valores relacionados con el valor medio en RCP 8.5: se espera que el aumento del nivel del mar aumente de +106 cm con valores extremos que oscilaría entre +78 y +143 cm (Perrette et al. 2012). La alta variabilidad lejos de los polos se debe principalmente a las altas incertidumbres en el forzamiento climático dadas por los GCM (Global Climate Models), en este caso, 18 modelos globales del CMIP5.

3.5. OLEAJE

3.5.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Aunque los datos de Era Interim, de altura del oleaje en el punto de cuadrícula 2 (13.5 ° N, 17.25 ° W) frente a la costa de Senegal, muestren que desde 1996 las olas de más de 3 m han ocurrido con mayor frecuencia que antes, también es posible observar que la frecuencia de las olas de más de 2 m ha disminuido con el tiempo según una regresión lineal.

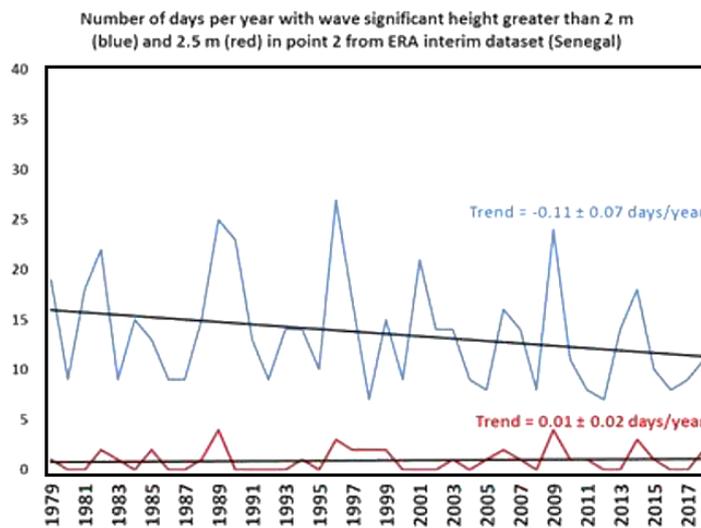


Figura 3.5.1.1 | Análisis del número de días por año con una altura de ola significativa mayor de 2 y 2.5 m con tendencia lineal, procedente de los datos oceanográficos de ERA-Interim en el punto de cuadrícula 2 (13.5 ° N, 17.25 ° W) frente a la costa de Senegal.

3.6. RIESGOS E IMPACTOS EN EL TERRITORIO

La erosión costera, las sequías y las inundaciones son actualmente los peligros naturales que representan mayores amenazas para Senegal. Por un lado, los cambios en el nivel del mar y el aumento de la intensidad de las marejadas ciclónicas están provocando erosión costera y representan un peligro para la población y la economía de Senegal. Por otro lado, las inundaciones, producidas por lluvias torrenciales, ocurren con mayor frecuencia que las sequías, pero estas últimas tienen consecuencias más graves y afectan a más personas por evento (CCKP).

3.6.1. EROSIÓN

La erosión en la costa varía según sectores, de 0.5 a 2 m por año (DEEC, 2015). Las causas son tanto naturales como humanas. La erosión costera en Senegal se está viendo acelerada por el aumento del nivel del mar, generando a su vez inundaciones en las zonas costeras bajas y la salinización de la tierra y de los recursos hídricos subterráneos y superficiales. De acuerdo con Niang et al. (2014) el aumento del nivel del mar será de +20 cm en 2050 bajo el RCP 4.5, mientras que a fines de siglo alcanzará +86 cm bajo el RCP 4.5 y +106 cm bajo el RCP 8.5. Por otra parte, juegan un papel importante factores como la urbanización desordenada de las áreas, particularmente costeras, y la multiplicación de presas en el curso de los ríos y otras infraestructuras de protección a menudo mal proyectadas.

Estos factores determinan un alto riesgo de pérdida de tierras a corto y medio plazo, especialmente en las áreas costeras de Ngalou Sam Sam y Palmarin, en el sur, y N'Dar Toute, en la parte norte del país.

La erosión costera es una gran amenaza en Rufisque-Bargny debido al aumento del nivel del mar y la extracción ilegal de arena para fines constructivos. En respuesta a esta amenaza, se han construido infraestructuras de protección, pero los asentamientos que no han implantado medidas de protección tendrán que retirarse tierra adentro. Según datos de Egis International (2013), en 2080 el 60% de las playas probablemente desaparecerán debido al aumento del nivel del mar, produciendo impactos erosivos en 300 edificios y 2250 personas.

3.6.2. INUNDACIONES

El aire más cálido tiene una mayor capacidad de transportar humedad en forma de vapor de agua, por lo que aumentará la probabilidad de fuertes lluvias. En muchos lugares del mundo, se prevé que aumente la cantidad máxima esperada de lluvia en un período de 10 años, lo que puede provocar un mayor número de inundaciones por lluvias torrenciales.

Senegal se caracteriza por altitudes bajas y redes hidrográficas constituidas por grandes sistemas fluviales (río Senegal, Gambia, Casamance, Kayanga, Seno, Saloum). Las inundaciones son el resultado del desbordamiento de las grandes cuencas debido a una combinación de lluvias to-

renciales, infraestructuras de drenaje inadecuadas y oleajes de tormenta. En las áreas costeras, el efecto de los desbordamientos fluviales se verá potenciado por el aumento del nivel del mar.

En Saint Louis, los fenómenos de inundación son particularmente significativos debido a la intensificación de los eventos costeros extremos en presencia de asentamientos humanos e infraestructuras. La mayor preocupación proviene del canal artificial que se realizó en la laguna *Langue de Barbarie* para evitar la inundación del río y que puede aumentar el riesgo de inundaciones marinas. Las simulaciones realizadas para analizar la influencia del aumento del nivel del mar en la inundación del río después de la apertura del canal, muestran que un aumento de 0.5 m en el nivel del mar será suficiente para inundar la isla de Saint Louise y sumergirse completamente de darse un aumento de 1 m (Durand et al. 2013).

En la región de Saly Portudal, se ha producido una pérdida de tierra de 142.96 m² entre 1984 y 2015, visible a través del análisis de imágenes satelitales. Teniendo en cuenta la evolución dinámica de la costa, se espera que el área retroceda más y pierda 212.06 m² en 2030. En 2050, se espera una pérdida de tierra de 225.56 m² bajo RCP 4.5 y de 232.90 m² bajo RCP 8.5, mientras que para fines de siglo el área será testigo de una pérdida de 225.56 m² bajo RCP 4.5 y de 268.95 m² bajo RCP 8.5.

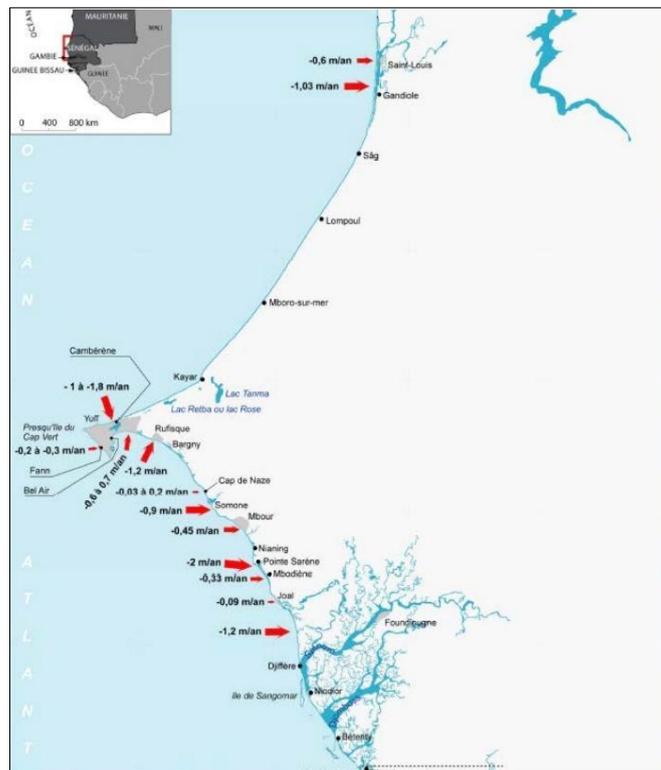


Figura 3.6.2.1 | Tasa de erosión de las costas sedimentarias por año desde la década de 1950. Casi todas las ciudades costeras de Senegal están afectadas por la erosión. Las zonas más vulnerables a la erosión serán Saint-Louis, Mbao-Bargny y el área de la Petite Côte incluida entre Ndangane y Djifere. Fuente: MEPN, 2006.

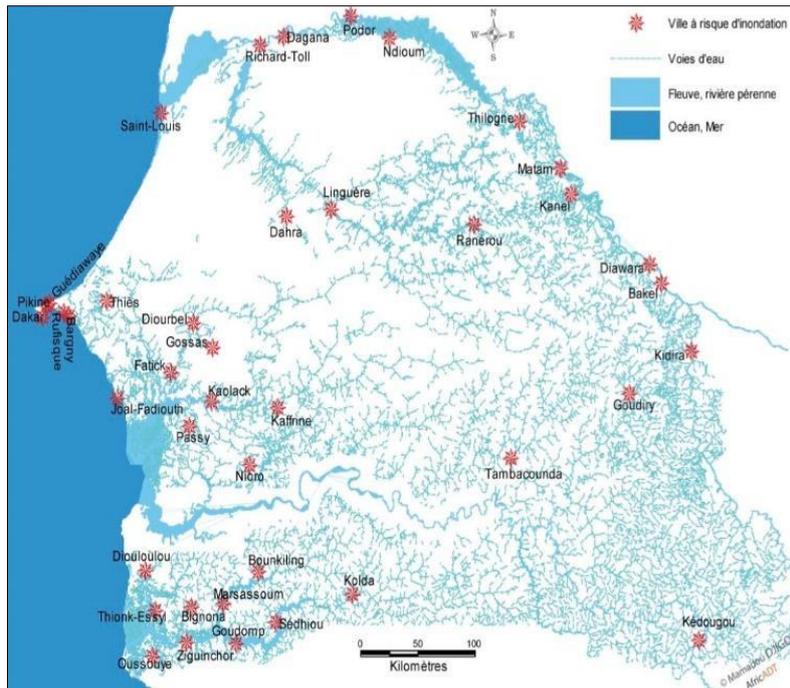


Figura 3.6.2.2 | Ciudades más expuestas a las inundaciones en Senegal. El problema de la inundación amenaza a todas las ciudades más importantes de Senegal, afectando especialmente a las zonas costeras bajas durante la temporada de lluvias. Fuente: Diouf, 2017.

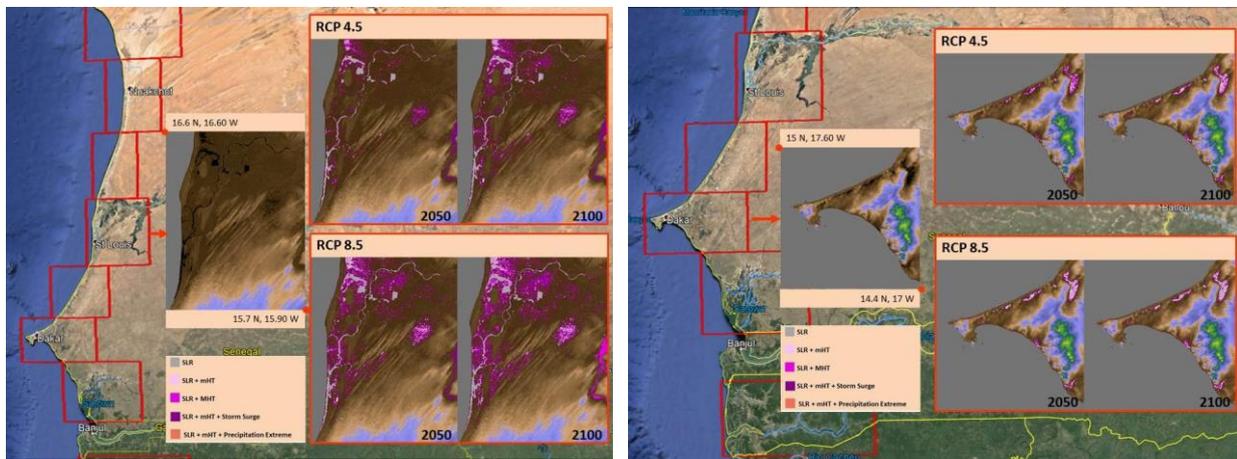


Figura 3.6.2.3 | Estimación de áreas vulnerables a inundaciones debido a SLR en los alrededores de la ciudad de Saint Louis y Dakar, en Senegal, utilizando datos de altura SRTM para los escenarios de concentración de gases RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: WACA.

3.6.3. SEQUÍAS

Como regla general, se espera que las áreas tradicionalmente áridas se vuelvan todavía más secas a medida que las temperaturas más altas intensifiquen la evapotranspiración, incluso si la

precipitación no cambia. Las condiciones secas también pueden venir acompañadas de temperaturas más altas y, por lo tanto, mayor necesidad de enfriamiento y aumento en la demanda de bombeo de agua, particularmente en regiones de agricultura intensiva.

En la región húmeda de Casamance, la disminución de las precipitaciones y la contracción de la temporada de lluvias han tenido efectos en todos los sistemas productivos y ambientales, y han determinado el aumento de la salinidad del agua y el suelo. Esta degradación climática llevó a un déficit económico que generó una migración masiva de jóvenes hacia los centros urbanos y el surgimiento de problemas sociales y económicos (Fall et al. 2013).

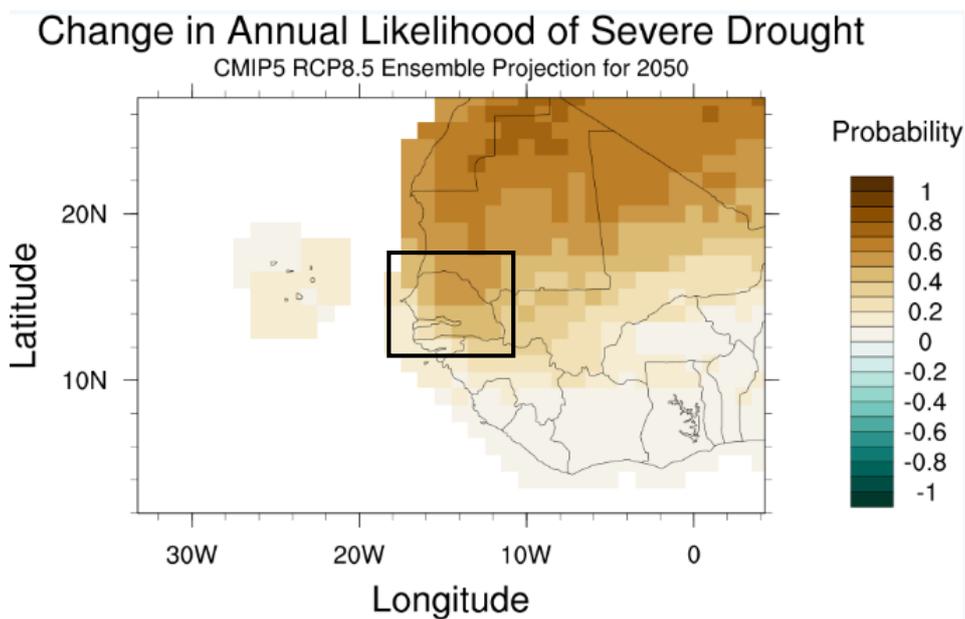


Figura 3.6.3.1 | Probabilidad de sequía severa o frecuencia con la que se esperan condiciones secas prolongadas, para 2050, utilizando el RCP8.5. Otros escenarios mostrarán una dirección de cambios similar, aunque con probabilidades algo reducidas. Fuente: CCKP.

3.7. ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible es el organismo central para las políticas de cambio climático en Senegal. El Comité Nacional sobre cambio climático, que se compone de representantes de cada ministerio y la oficina del Presidente, también es un organismo relevante en esta materia. El país no ha publicado una estrategia integral sobre el cambio climático, pero desarrolló los Programas Nacionales de Adaptación en 2006 y presentó una Contribución nacional determinada (NDC) en 2015 que proporciona proyectos y planes de mitigación y adaptación. Senegal ratificó el Acuerdo de París el 21 de septiembre de 2016.

El plan previsto por Senegal establece objetivos de adaptación para ocho sectores diferentes en 2016-2035. Los objetivos incluyen, entre otras cuestiones, hacer que los ecosistemas sean más resistentes, proteger las zonas costeras y las comunidades vulnerables, desarrollar un sistema integrado de gestión de los recursos hídricos, promover seguros para las comunidades pesqueras, crear sistemas de alerta temprana para proporcionar información a los agricultores, mejorar la salud del ganado y fortalecer la infraestructura de saneamiento en zonas urbanas. El costo total previsto de las acciones de adaptación al cambio climático para 2035 se estima en USD \$ 14.558 millones (CCKP).

Figura 3.7.1 | Resumen de los principales objetivos de adaptación al cambio climático en Senegal (Fuente: CCKP).

<p>AGRICULTURA</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Promover técnicas de fertilización. -Reorganizar los sistemas agrícolas. -Establecer un sistema de alerta temprana de plagas en zonas rurales. -Desarrollar el apoyo institucional y la capacitación de los responsables políticos. -Desarrollar e implantar mecanismos de seguro y protección social. -Diversificar los cultivos. -Fomentar el uso de variedades de ciclo corto y variedades tolerantes a la salinidad. -Crear sistemas de recolección y de almacenamiento de agua (presas, cuencas de retención, cortavientos). -Ampliar los lotes comunitarios. -Prevenir los incendios forestales.
<p>RECURSOS HÍDRICOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollar programas educativos sobre uso y gestión del agua. -Controlar el uso de fertilizantes y pesticidas. -Mantener el equilibrio entre la tasa de explotación y la tasa de renovación de las aguas subterráneas. -Desarrollar un plan de restauración para los proyectos de vivienda. -Proteger las infraestructuras hidráulicas, incluyendo áreas de captación. -Gestionar el agua de lluvia y los caudales fluviales.
<p>ZONAS COSTERAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar la gestión integrada de zonas costeras, incluido el mapeo de zonas costeras y la regulación de las infraestructuras. -Implementar mecanismos de diversificación de medios de vida para las comunidades pesqueras y la exploración de especies alternativas para los mercados. -Fomentar el uso adecuado de las playas y aplicar medidas de protección para las zonas costeras. -Prohibir la extracción de arena en la playa y adoptar políticas relacionadas (Senegal está haciendo grandes progresos en la reducción de la vulnerabilidad costera, con el apoyo del Crédito de Apoyo a la Reducción de la

	Pobreza 2009-2010).
--	---------------------

RETOS Y CARENCIAS EN INVESTIGACIÓN, DATOS E INFORMACIÓN:

- ✓ Se requiere del monitoreo y modelación apropiados de los cambios proyectados en el nivel del mar y los oleajes de tormenta, particularmente en las regiones costeras vulnerables alrededor de Thies, Dakar y el delta del río Senegal, con base en un enfoque integrado.
- ✓ La información climática está disponible para varias estaciones en Senegal, pero la cobertura espacial de las estaciones en todo el país, incluso a lo largo de la costa, debe mejorarse.
- ✓ Nuevos métodos para mejorar el uso del agua en la agricultura y fomentar el uso de nuevos cultivos y semillas mejoradas, en particular en aquellas regiones que actualmente enfrentan déficits de agua durante las estaciones secas.
- ✓ Una segmentación de la costa de mayor resolución para desarrollar e identificar medidas de adaptación adecuadas (datos de población más detallados, períodos de retorno locales para los niveles de mar, geomorfología costera, cargas de sedimentos)
- ✓ Faltan proyectos urbanísticos y de vivienda concretos de adaptación a la erosión costera y a las inundaciones.
- ✓ Faltan proyectos centrados para mejorar sistemas de alerta temprana. Hay carencias en la prevención y respuesta a las inundaciones causadas por lluvias torrenciales, incluida la falta de pronósticos detallados y mapas de zonas de riesgo, así como métodos adecuados de evaluación de vulnerabilidad y sistemas de recolección de datos
- ✓ Desarrollo de nuevos proyectos de reforestación, riego, restauración de suelos, construcción de diques, planes de riego y restauración de manglares, así como planes de gestión de riesgos y desastres en respuesta a inundaciones en áreas urbanas.
- ✓ Análisis detallados de la vulnerabilidad de las regiones rurales del sur para identificar no solo los riesgos potenciales para la seguridad alimentaria sino también las oportunidades que puedan surgir debido a los cambios climáticos proyectados.



4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES

Mauritania se divide en dos zonas climáticas principales: el Sahara y el Sahel, cada una con una zona costera y otra continental. El litoral se caracteriza por una humedad relativamente alta y fluctuaciones diarias bajas de la temperatura, mientras que las áreas del interior tienen mayores diferencias de temperatura y una aridez extrema en el aire, con muy poca lluvia y alta evaporación. En general, Mauritania tiene un clima seco, cálido y ventoso, fuertemente expuesto a los efectos de la desertificación. La mayoría de Mauritania recibe muy poca lluvia durante todo el año. El extremo sur del país, que llega al Sahel, tiene una estación húmeda controlada por la oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ). La temperatura media mensual del país se mantiene por encima de los 25°C durante todo el año y las temperaturas medias mensuales máximas alcanzan los 33°C en junio y julio.

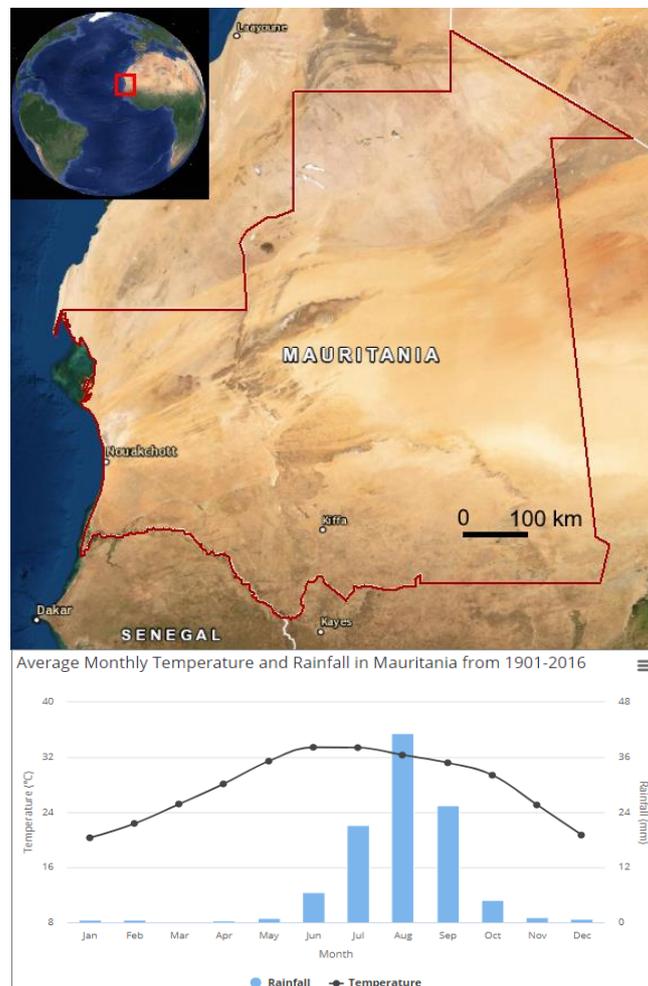


Figura 4.1.1 | Mapa de Mauritania sobre imagen de satélite y climograma (temperatura y precipitación).

4.2. TEMPERATURA DEL AIRE

4.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

El Banco Mundial (portal CCKP) reporta los siguientes hitos en las tendencias históricas de las temperaturas en Mauritania:

- ✓ La temperatura media anual ha aumentado 0.9°C desde 1960.
- ✓ La tasa de aumento de temperatura es más intensa en la estación cálida y seca.
- ✓ Desde 1960, se ha observado un aumento en los días y noches cálidos, con una disminución en el número de noches frías.

Los resultados de ERA Interim para Mauritania, muestran que la temperatura media en el período 2008-2017 habría disminuido -0.13°C durante los meses de invierno en comparación con el período de referencia 1986-2005. No obstante, la fiabilidad de estos datos no es muy alta debido a su elevada variabilidad. Para el mismo período comparativo, la temperatura aumentó 0.58° C durante los meses de verano (junio-agosto) con un rango entre 0.27° C y 0.89° C. Según los registros de las series históricas de estación de Nouakchott (18.1°N, 15.9°W), proporcionados por el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC) de EEUU, la temperatura media habría seguido una tendencia de ascenso lineal de 0.02°C por año durante el periodo de observación de 1979 a 2016.

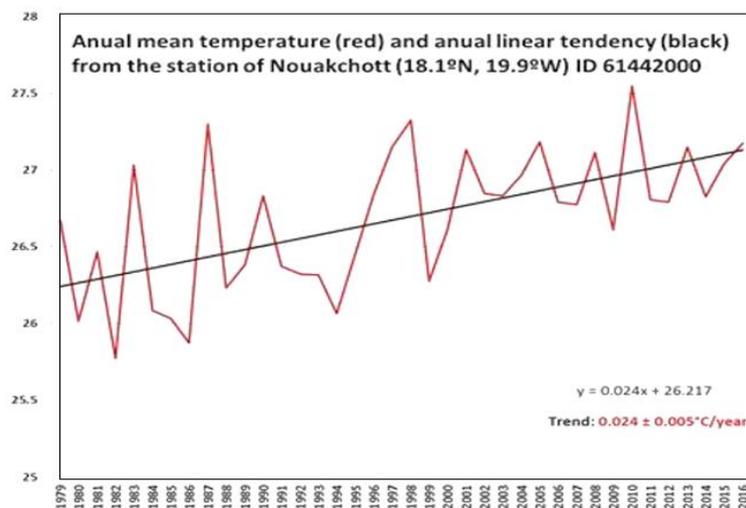


Figura 4.2.1.1 | Serie temporal de temperatura media anual de 1979 a 2016, y tendencia de 0.024°C por año en la estación de Nouakchott.

Yacoub y Tayfor (2018), de la Universidad de Nanjing (China) y del Instituto Izmir de Tecnología (Turquía), analizaron las tendencias anuales de temperatura entre 1970 y 2013, en tres estaciones de la región de Trarza (Boutilimit, Nouakchott y Rosso), para detectar impactos del cambio

climático en los recursos hídricos de la región. Las estaciones mostraron tendencias crecientes en la temperatura máxima, mínima y media. La magnitud de la tendencia se calculó en 0.2-0.4°C por década.

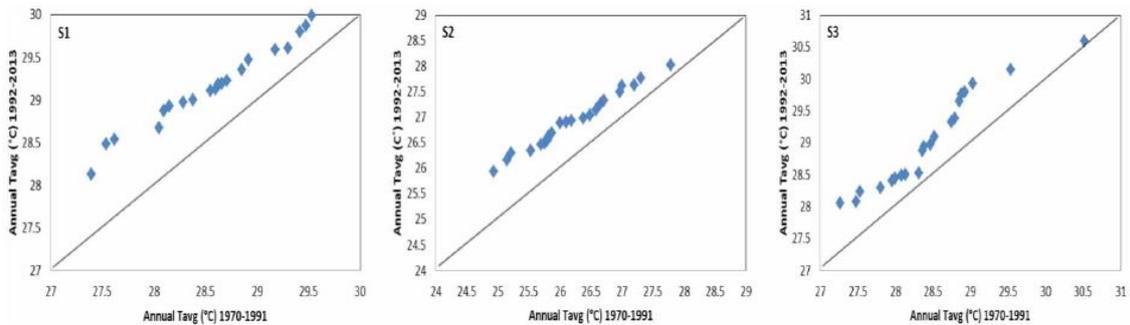


Figura 4.2.1.2 | Tendencias de temperatura media anual entre 1970 y 2013, de las estaciones Boutilimit, Nouakchott y Rosso (Trarza, Mauritania), por la prueba de tendencia de Şen. Fuente: Yacoub y Tayfor, 2018.

4.2.2. PROYECCIONES

En el futuro se espera un claro aumento de las temperaturas para cada uno de los dos escenarios RCP. Se prevé que el calentamiento sea mayor en los meses de verano, entre junio y septiembre, respecto a los de invierno, y que sea más pronunciado en áreas interiores del país en comparación con la costa (Banco Mundial, 2018). En el período 2020-2039, se espera que la temperatura aumente aproximadamente 1.1°C bajo el escenario RCP 4.5, y 1.3°C en el escenario de mayores emisiones de gases de efecto invernadero RCP 8.5. Las proyecciones para el período 2040-2059 muestran un aumento de la temperatura de más de 1.7°C para RCP 4.5 y de casi 2.3°C para RCP 8.5. A finales de siglo, se espera que la temperatura aumente más de 2.2°C para RCP 4.5 y alrededor de 4.6°C para RCP 8.5.

4.3. PRECIPITACIÓN

4.3.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

El Portal de Conocimiento del cambio climático (CCKP, Banco Mundial) reporta los siguientes hitos en las tendencias históricas de las precipitaciones en Mauritania:

- ✓ No hay una tendencia clara de precipitación desde 1960. Sin embargo, se habría observado una reducción general en la precipitación acumulada para África occidental desde 2000-2009.

- ✓ La estación seca de Mauritania se ha alargado.
- ✓ Se ha observado una creciente división climática entre el Sahel oriental (Níger, Chad) y el Sahel occidental (Burkina Faso, Malí, Mauritania), con menos precipitaciones en este último.

En los datos de ERA Interim, la tasa de precipitación promedio mensual en los últimos diez años, de 2008 a 2017, presenta una variabilidad muy alta, tanto en verano como en invierno, con respecto al periodo 1986-2005. Los datos muestran un aumento de 0.02 mm (entre 0.05 y 0.09 mm) en los meses de verano (temporada de lluvias). Las precipitaciones promedio de la temporada de lluvias (de junio a octubre) en la estación de Nouakchott parecen disminuir durante el período 1950-2016, pero a partir de la década de 1970 se ha observado un aumento significativo de 0.5 ± 0.1 mm por temporada.

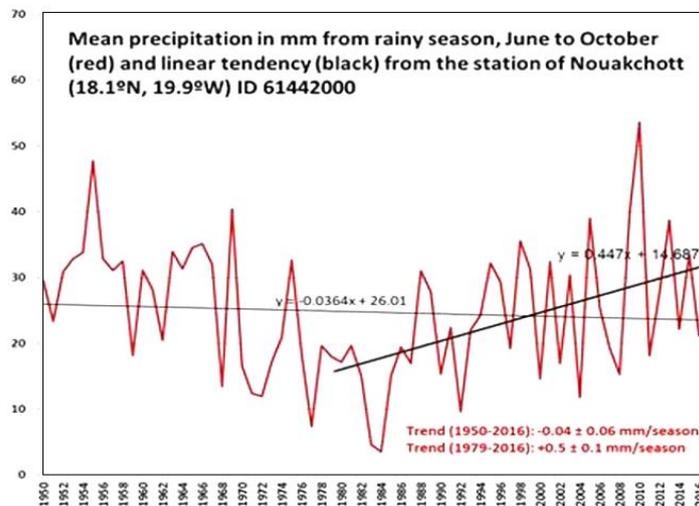


Figura 4.3.1.1 | Serie temporal de precipitación estacional de 1950 a 2016 (junio a octubre), y tendencias para diferentes períodos, en la estación de Nouakchott.

Ahmed et al. (2008), de la Universidad de Tottori (Japón), estudiaron la periodicidad y tendencias de las series temporales de lluvia en la ciudad interior de Atar (región de Adrar), la cual presenta el registro de precipitación más largo de Mauritania (desde 1913 a 2004). Obtuvieron lo siguiente:

- (I) Una tendencia de periodos lluviosos entre 1920 y 1950, donde las anomalías de lluvias estuvieron por encima del promedio.
- (II) Periodos prolongados de sequía durante la década de 1970 (sequía del Sahel, que fue la más devastadora de la región en las últimas tres décadas del siglo XX), donde las lluvias estuvieron por debajo del promedio de 1961–1990 (73.6 mm) en varios años. Los años deficientes se prolongaron por lo menos 34 años, hasta la década de 1990.
- (III) A partir de entonces la precipitación mostró oscilaciones periódicas en torno a la media, sin tendencias claras globales.

(IV) La tendencia de la serie completa de precipitación es de decrecimiento, determinada principalmente por una disminución progresiva de las lluvias en el periodo lluvioso (agosto-septiembre) a lo largo de todos los tramos de la serie temporal.

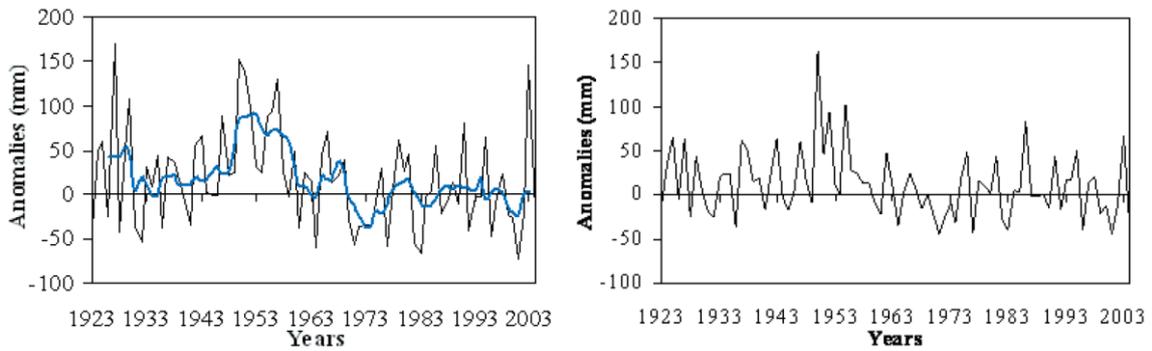


Figura 4.3.1.2 |. Izquierda: Anomalías de la precipitación anual (izquierda) y de la precipitación de agosto-septiembre (derecha) respecto al período de referencia 1961-1990 de la WMO (World Meteorological Organization). Fuente: Ahmmed et al 2006.

Los resultados de Yacoub y Tayfor (2018), del análisis de tres estaciones de la región de Trarza (Boutilimit, Nouakchott y Rosso) entre 1970 y 2013, indican tendencias crecientes en la precipitación de una magnitud de entre 2.93 y 3.35 mm por año.

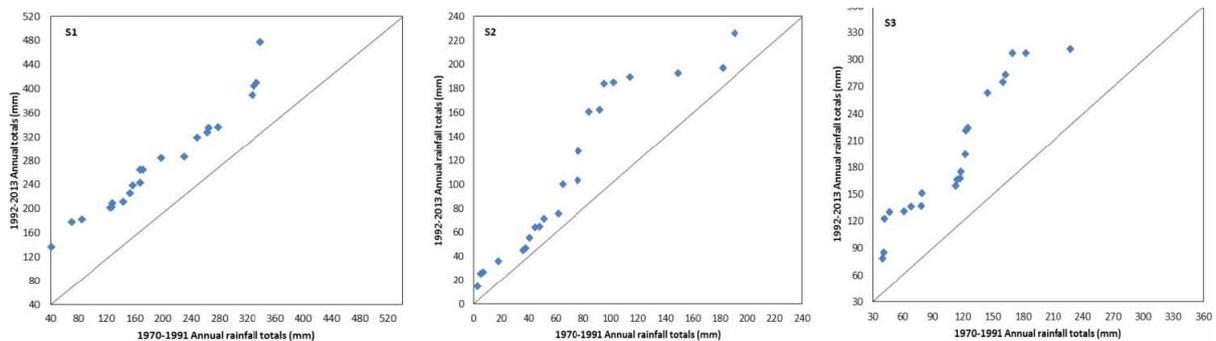


Figura 4.3.1.3 | Tendencias de precipitación anual entre 1970 y 2013, de las estaciones Boutilimit, Nouakchott y Rosso (Trarza, Mauritania), por la prueba de tendencia de Şen. Fuente: Yacoub y Tayfor (2018).

4.3.2. PROYECCIONES

Aunque la información disponible indica que las precipitaciones disminuirán durante el próximo siglo, la alta variabilidad que muestran los datos no permite predecir una tendencia con total fiabilidad.

Las proyecciones marcan una mayor disminución de las precipitaciones en los meses de verano (junio-agosto) que en los meses de invierno (diciembre-febrero). Así, se espera una disminución de aproximadamente 0.7 mm para el horizonte temporal 2020-2039, bajo el RCP 4.5, y de casi 0.6 mm bajo el RCP 8.5, mostrando este último una mayor variabilidad de resultados. En 2050, se espera una disminución de 0.6 mm bajo el RCP 4.5 y de 1.1 mm para el RCP 8.5; mientras que para finales de siglo la precipitación de lluvia disminuiría 1.4 mm bajo el RCP 4.5 y 2.5 mm bajo el RCP 8.5.

Las estaciones lluviosas experimentarán una duración más corta, pero los eventos extremos de precipitación pluvial ocurrirán con mayor frecuencia, especialmente en las áreas del sur del Sahel Occidental. La posibilidad de que las precipitaciones ocurran con menos frecuencia, pero con mayor intensidad, puede conducir a años más secos y a una intensificación de la desertificación para el país, al tiempo que puede ocasionar una mayor incidencia de las inundaciones causadas por lluvias torrenciales.

4.4. NIVEL DEL MAR

4.4.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Los satélites de la ESA muestran una tendencia positiva de ascenso del nivel medio del mar de 0.32 ± 0.06 cm/año en la costa de Mauritania durante el período 1992-2007. Suponiendo que la tendencia anual hubiese permanecido constante en 15 años, desde 1992 hasta 2007, el cambio total del nivel del mar habría sido de 4.9 ± 1.4 cm. Estos valores se obtienen de la recta de regresión ($y = 0.32x - 0.3$) con pendiente (tendencia), incertidumbre de propagación (± 0.06 cm/año) e incertidumbre de compensación (± 0.5 cm).

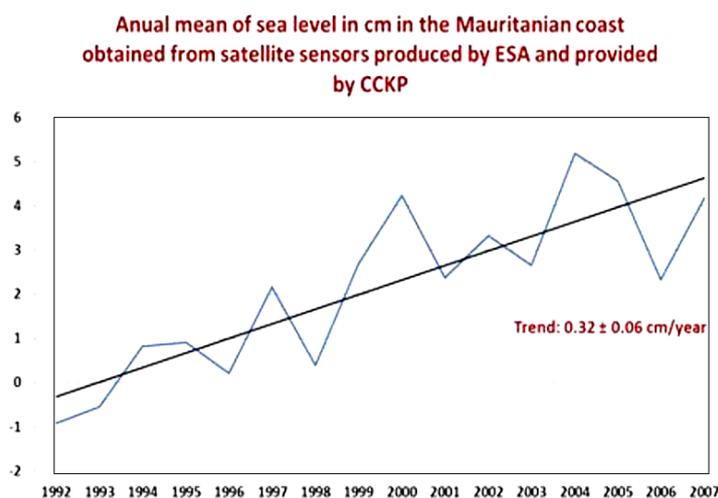


Figura 4.4.1.1 | Series anuales medias y tendencias del nivel del mar desde 1992 hasta 2007. Fuente: elaborado a partir de datos de ESA (CCKP).

4.4.2. PROYECCIONES

Se prevé que, en Mauritania, el aumento del nivel del mar se produzca a un ritmo más rápido que los promedios mundiales, lo que dé lugar a un mayor riesgo de erosión costera e inundaciones (Banco Mundial 2018). Se espera que el aumento del nivel del mar alcance hasta +60 cm en 2050, bajo RCP 8.5, hasta +86 cm en 2100, bajo RCP 4.5, y hasta +106 cm bajo RCP 8.5.

4.5. OLAJE

4.5.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Los datos oceanográficos de ERA-Interim entre 1979 y 2018, en el punto de cuadrícula 1 (18.75 ° N, 16.5 ° W), frente a la costa de Mauritania, muestra una tendencia de aumento de la altura significativa del oleaje >2 m, a una tasa de 0.1 días por año, y de la altura significativa >2.5 m, a una tasa 0.04 días por año. Estos datos indicarían una tendencia histórica de régimen marítimo a aumentar la energía media con que el oleaje alcanza las costas mauritanas.

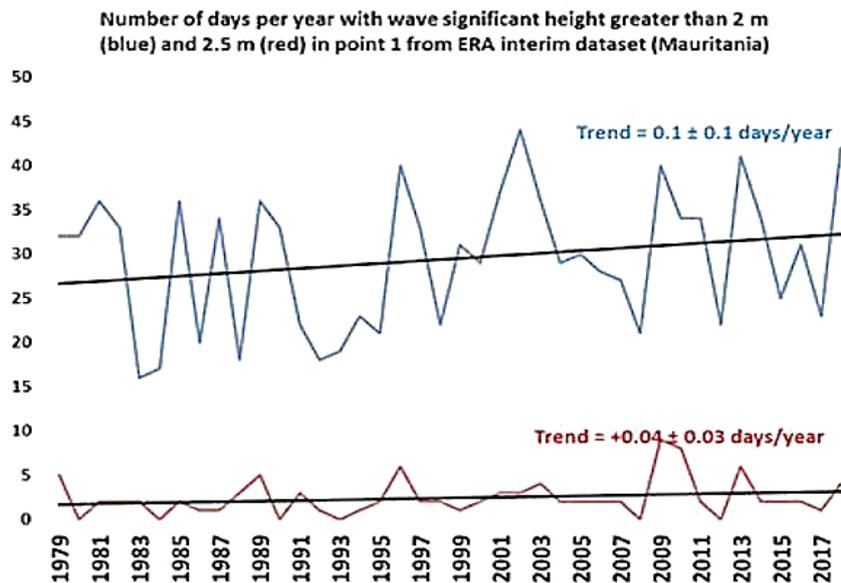


Figura 4.5.1.1 | Número de días por año con altura significativa de ola (Hs) mayor de 2 y 2.5 m con tendencia lineal. Datos oceanográficos de ERA-Interim en el punto de cuadrícula 1 (18.75 ° N, 16.5 ° W), frente a la costa de Mauritania.

4.6. RIESGOS E IMPACTOS EN EL TERRITORIO

Si bien Mauritania es propensa a la sequía y a las inundaciones en algunas áreas, se espera que estas se intensifiquen provocando un desplazamiento humano y un aumento de la urbanización que puede convertirse en uno de los grandes desafíos en el futuro. Además, el daño a los cultivos y el aumento del estrés hídrico pueden ocasionar pérdidas económicas significativas, daños a las tierras agrícolas y a la salud humana. Las vulnerabilidades del país se verán exacerbadas debido al alto nivel de pobreza y a la alta dependencia de sectores "sensibles al cambio climático", como la agricultura, la pesca, la minería y la ganadería.

Debido a la baja altitud del país, una de las consecuencias más graves del cambio climático sobre la población y las infraestructuras de Mauritania son los procesos de erosión e inundación por el aumento del nivel del mar y la incidencia creciente de temporales. Además, los ciclos repetitivos de sequías que el país ha experimentado en el pasado, han movido gran parte de la población hacia las ciudades costeras, generando un rápido crecimiento de las mismas y haciéndolas más vulnerables al impacto de estos fenómenos.

4.6.1. EROSIÓN

Los cambios morfológicos observables por satélite muestran una pérdida de tierra en la mayoría de los puntos analizados de la costa mauritana. La línea de costa ha progradado en ciertos puntos, debido presumiblemente a la acumulación de sedimentos a partir de la implantación de infraestructuras o barreras artificiales. Actualmente, los principales focos afectados por erosión debido al cambio climático son las capitales políticas y económicas de Mauritania, Nuakchot y Nouadhibou, altamente expuestas a los fenómenos costeros.

En Nouakchott, situada en una llanura costera arenosa, tanto los factores naturales como la intervención humana han sido determinantes para los procesos de erosión. El aumento del nivel del mar, las marejadas ciclónicas y el fuerte transporte de sedimentos hacia el sur se han combinado con los impactos negativos de la construcción de puertos, la extracción ilegal de arena y el crecimiento urbano.

Por ejemplo, la construcción del Port de l'Amitié determinó un cambio en el transporte sedimentario y en la evolución de la costa. Wu (2006), de la Ecole Pratique des Hautes Etudes (Francia), analizó las alteraciones en la dinámica sedimentaria de la costa tras la construcción en 1987 del Puerto de l'Amitié, al sur de Nouakchott, utilizando imágenes de satélite SPOT y cadenas de Markov. Los resultados mostraron que el sector de playa al norte del puerto había experimentado una ganancia superficial de 92 ha entre 1989 y 2001, y que dicha acumulación continuaría hasta dentro de aproximadamente 13 años \pm 6 meses (en 2014–2015). En el mismo periodo, el tramo costero al sur del puerto se había erosionado 134 ha y la línea de costa había retrocedido un máximo de 362 m, proyectándose una erosión de 0.91 km² de 2001 a 2011. Elmoustapha et al. (2007), de la Universidad de Nouakchott (Mauritania), Universidad de Caen (Francia) e Instituto de Ciencias del Mar de Rimouski (Canadá), publicaron resultados sobre los efectos de la construcción del puerto de Nouakchott en la dinámica costera mediante un modelo numérico UNIBEST, confirmando que la tasa de cambio de la costa había aumentado 10 veces después de la construcción del puerto, con una importante acumulación al norte y una severa erosión al sur.

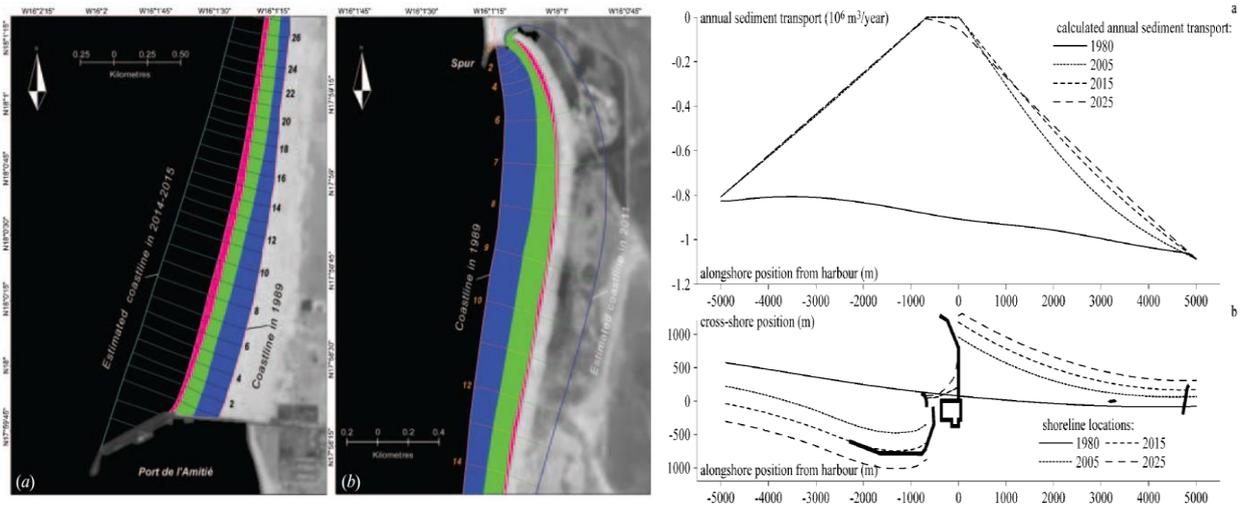


Figura 4.6.1.1 | (Izquierda) Observaciones de acreción y erosión entre 1990 y 2000, al norte (a) y al sur (b) del Puerto de l’Amitié, respectivamente, y proyecciones a 10 años mediante cadenas de Markov, Fuente: Wu (2006). (Derecha) Modelización del transporte de sedimento longitudinal en relación con la ubicación del puerto de Nouakchott y predicción de la evolución costera a partir de 1980. Fuente: Elmoustapha et al, 2007.

Figura 4.6.1.1 | Principales áreas afectadas por la erosión en la región costera de Mauritania y proyecciones para los horizontes temporales y escenarios RCP.

	1984 - 2015	1984 - 2030	1984 - 2050		1984 - 2100	
	Observaciones satélite	Proyección (RCP4.5-8.5)	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Pto. de Nouakchott*	+2.20 km ²	+3.44	+3.44	+3.44	+3.44	+3.44
Pto de Nouakchott**	-3.23	-4.82	-7.66	-27.3	-36.1	-40.6
Jreida y Nouakchott***	-0.73	-1.10	-2.18	-3.11	-3.1	-7.46
Nouadhibou****	-0.40	-0.60	-0.96	-1.51	-1.85	-2.30

*(17.9983°N, 16.0298°W), **(17.9776°N, 16.02237°W), *** (18.1376°N, 16.02966°W), ****(20.91807°N, -17.0195°W).

Los análisis de Mahé y Paturel (2009), de la Universidad de Montpellier, indican que el efecto conjunto del cambio climático y de las actividades humanas sobre la cobertura del suelo desde la década de 1970 es responsable de un aumento de los coeficientes de escorrentía y el aumento de la erosión de las cuencas en el Sahel, a pesar de la escasez de precipitaciones durante el mismo período.

4.6.2. INUNDACIONES

Según las estimaciones para 2050, bajo el escenario RCP 4.5, el área expuesta al aumento del nivel del mar estará limitada al norte de Nouakchott, expandiéndose a otras áreas a lo largo de

la costa bajo el escenario RCP 8.5. La ciudad será testigo de una pérdida de 7.66 km² en 2050 bajo el RCP 4.5 y de 27.3 km² bajo el RCP 8.5. Bajo el mismo escenario, se espera una pérdida de 40.6 km² en 2100.

En Nouadhibou, el riesgo de inundación es menos pronunciado gracias a la protección natural frente al oleaje que ejerce la Baie du Lévrierque, abierta al sur. El oleaje medio es de menos de 0.2 m y las corrientes también son débiles, de 0.05 a 0.25 m/s en dirección Sur y Suroeste

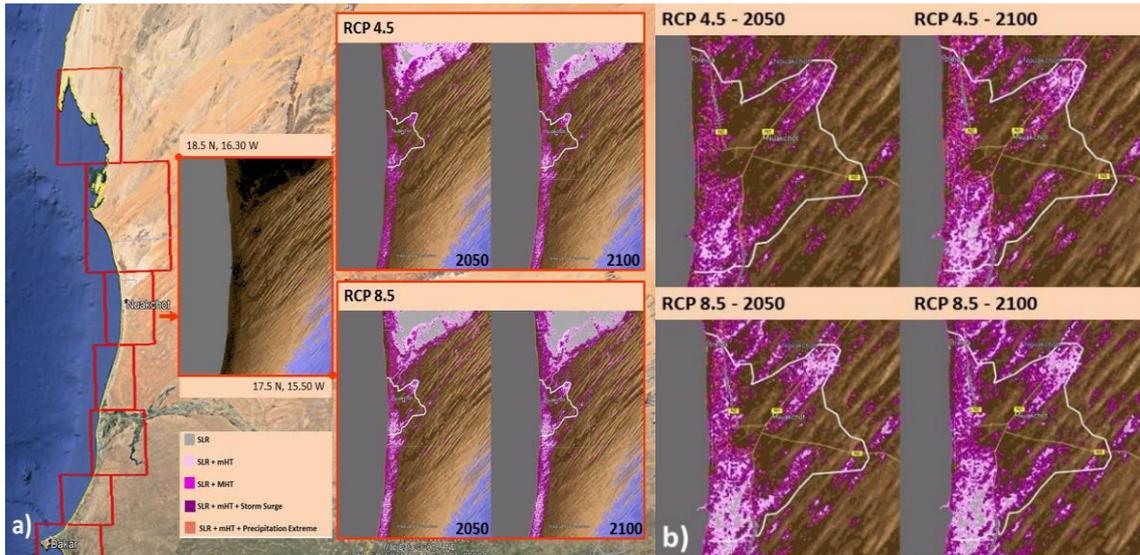


Figura 4.6.2.1 | (a) Estimación de áreas expuestas a inundaciones causadas por SLR (incluyendo mareas, marejadas y precipitaciones extremas), en los alrededores de la ciudad de Nouakchott (Mauritania) utilizando datos de altura SRTM. (b) Mapas de inundación superpuestos en áreas urbanizadas de la ciudad de Nouakchott. Fuente: WACA.

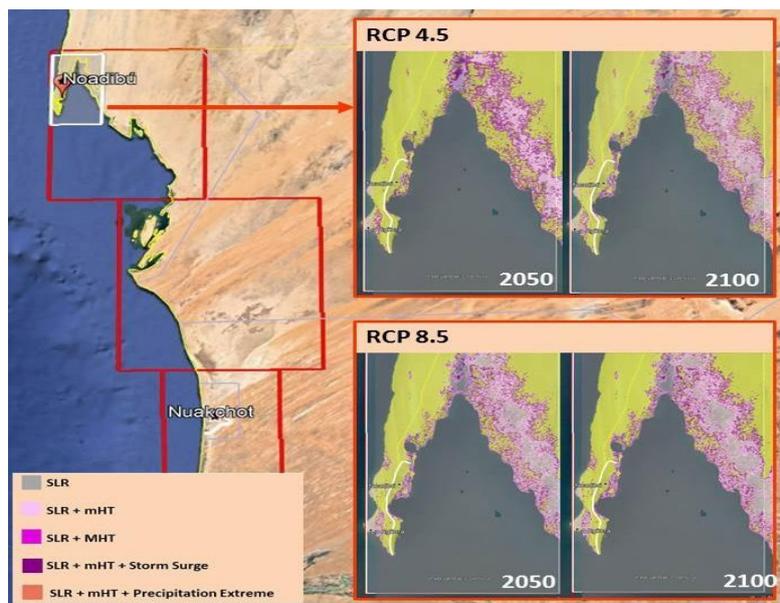


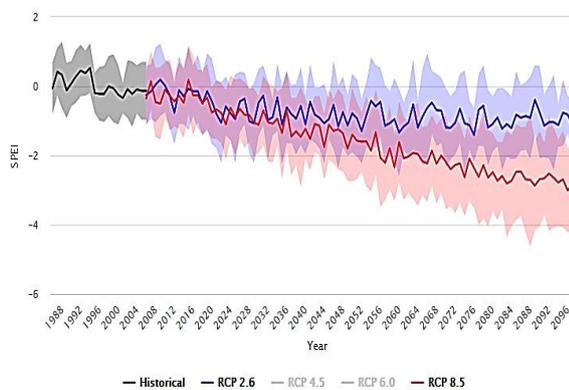
Figura 4.6.2.2 | Estimación de áreas expuestas a inundaciones causadas por SLR (incluyendo mareas, marejadas y lluvias torrenciales) en los alrededores de la ciudad de Nouadhibou. Las principales áreas urbanas están al oeste de la línea blanca y son vulnerables a los problemas de inundación. En verde, las áreas no afectadas por las inundaciones proyectadas. Fuente: WACA.

4.6.3. SEQUÍAS

El sector agrícola desempeña un papel fundamental en la situación de seguridad alimentaria y en la prosperidad económica de Mauritania. La agricultura en Mauritania, como en gran parte del Sahel, está mal mecanizada y depende casi por completo de las lluvias de verano limitadas y variables, por lo que es muy vulnerable a la variabilidad causada por el del cambio climático. Las lluvias tardías y los déficits de lluvia han sido particularmente pronunciados en las zonas agrícolas del país en los últimos años. Los suelos mauritanos son generalmente limitados en nutrientes y corren el riesgo de una mayor degradación por la deforestación, el pastoreo excesivo y el cultivo continuo.

Se espera que la reducción de la precipitación y las temperaturas más altas intensifiquen la desertificación y la intrusión de arena en los campos de cultivo. Los cambios en la cobertura del suelo, principalmente la deforestación para leña, también afectan el contenido de humedad del suelo y se espera que el aumento del estrés hídrico reduzca la productividad de los cultivos.

Drought / Wet-Conditions (SPEI) in Mauritania for period: 1986-2099



Change in Annual Likelihood of Severe Drought

CMIP5 RCP8.5 Ensemble Projection for 2050

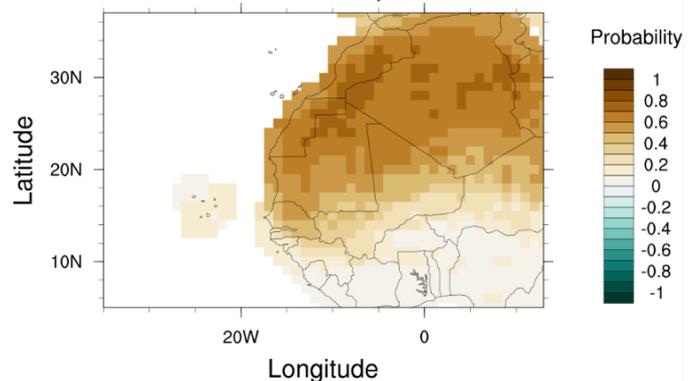


Figura 4.6.3.1 | Proyección de las condiciones de sequía/humedad (SPEI) hacia una mayor aridez, y probabilidad de sequía severa o frecuencia con la que se esperan condiciones secas prolongadas para 2050, bajo un RCP8.5. Los otros escenarios mostrarán una dirección de cambios similar, aunque con probabilidades algo reducidas. Fuente: CCKP.

4.7. ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

Mauritania está tratando de alcanzar sus prioridades de adaptación a través de iniciativas en sectores claves, incluidos los recursos hídricos, ganadería, vivienda, urbanismo, planificación

regional, recursos naturales, pesca y salud. Sin embargo, para cumplir con estas expectativas, se necesitan capacidades y recursos adicionales a los que existen en la actualidad.

En Mauritania, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible es la agencia principal responsable de preparar la Comunicación Nacional bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) y el Programa de Acción Nacional de Adaptación (NAPA). Este Ministerio aborda las prioridades de los objetivos ambientales y es el responsable de crear el marco intergubernamental adecuado para combatir el cambio climático en el país. A día de hoy, Mauritania ha diseñado ya diferentes políticas recogidas en los siguientes informes:

- ✓ PLAN DE GESTIÓN DE LA ZONA COSTERA DE MAURITANIA (2017).
- ✓ DOCUMENTO DE ESTRATEGIA DE LUCHA CONTRA LA POBREZA (2011).
- ✓ PROGRAMA DE ACCIÓN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (2004).

Figura 4.7.1 | Resumen de los principales objetivos de adaptación al cambio climático en Mauritania (Fuente: CCKP).

AGRICULTURA	<ul style="list-style-type: none"> -Mejorar la difusión de información del cambio climático y las opciones de adaptación del sector agrícola. - Mejorar el mercado de producción y cosecha de alimentos básicos: maíz, mijo, sorgo y ganado, así como el ensayo de variedades de alto rendimiento. -Implementar prácticas integradas de gestión del suelo para rehabilitar tierras degradadas y preservar la fertilidad. -Mejorar la red de monitoreo del clima y los sistemas de información meteorológica asociados, incluida la publicación y distribución de pronósticos meteorológicos locales.
ENERGÍA	<ul style="list-style-type: none"> -Aprovechar el potencial del país en producción de energía de origen solar.
SALUD	<ul style="list-style-type: none"> -Mejorar la infraestructura de atención sanitaria y de personal de salud para prevenir enfermedades relacionadas con factores climáticos. -Aumentar la inversión en investigación sobre salud y adaptación al clima. -Desarrollar sistemas de alerta temprana de salud, específicamente para olas de calor e inundaciones.
AGUA	<ul style="list-style-type: none"> -Modernizar la infraestructura de gestión del agua del país para el correcto abastecimiento urbano de saneamiento y agua potable. -Desarrollar estrategias de planificación y adaptación de los recursos hídricos para los sectores agrícola y energético. -Proteger las cuencas fluviales y otras fuentes de agua dulce (incluidos los acuíferos) para asegurar el suministro en todos los sectores y comunidades. -Mejorar el alcantarillado urbano para combatir las vulnerabilidades de saneamiento y las enfermedades transmitidas por el agua.
ZONA COSTERA	<ul style="list-style-type: none"> -Ampliar, reconstruir y mejorar la limitada infraestructura de drenaje del país a lo largo de su costa. -Potenciar la conservación de los ecosistemas naturales, como los manglares y las dunas protectoras de arena, que pueden ayudar a las comunidades vulnerables que viven en la costa.

-Reducir los riesgos de inundación en las principales áreas urbanas y puertos de Mauritania.
-Mayores inversiones técnicas y mediciones para mejorar el conocimiento y el mapeo de la costa.

RETOS Y CARENCIAS EN INVESTIGACIÓN, DATOS E INFORMACIÓN:

En Mauritania se precisa una mejor comprensión del momento y la magnitud de la incidencia de varios de los indicadores importantes del cambio climático en el futuro, así como de las vulnerabilidades del país, el impacto en el desarrollo y las posibles respuestas de adaptación. Para ello, se debe avanzar en los siguientes aspectos:

- ✓ Aumentar la participación de la ciudadanía, las instituciones científicas, las mujeres y las comunidades locales en la planificación y la gestión.
- ✓ Fortalecer las capacidades de monitoreo ambiental para una gestión ambiental fortalecida y más efectiva. Creación de redes mejoradas para la medición de los parámetros climáticos.
- ✓ Mejorar la capacidad técnica para analizar los datos de HYDROMET y los impactos en los diferentes sectores.
- ✓ Fortalecimiento de la capacidad técnica para integrar la gestión de riesgos del cambio climático en la actividad agrícola.
- ✓ Fortalecer la capacidad institucional para proporcionar sistemas de alerta temprana sobre fenómenos hidrometeorológicos peligrosos, especialmente en las áreas costeras más vulnerables.
- ✓ Asegurar la integración de los objetivos de la estrategia ambiental nacional en los planes sectoriales y regionales.
- ✓ Establecer un comité directivo nacional sobre cambio climático para garantizar la integración y la planificación, garantizar la asignación adecuada de recursos y monitorear los resultados relacionados con los esfuerzos del país frente al cambio climático.
- ✓ Integrar las preocupaciones sobre el cambio climático en las políticas y procesos de planificación relevantes a nivel estatal y nacional

5

CABO VERDE

5.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES

Cabo Verde tiene un clima tropical árido, con temperaturas suaves todo el año debido a la corriente de las Islas Canarias, de aguas frías, y a los vientos alisios, que soplan desde el nordeste, especialmente entre noviembre y mayo. Existen tres estaciones distintas, determinadas por la actividad e intensidad de las células climáticas regionales: una estación seca (marzo-junio), un periodo de transición (noviembre-febrero) y una estación lluviosa (julio-octubre). Esto es debido al desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical. La temperatura media anual es de alrededor de 25°C para las zonas costeras, con variabilidad baja, llegando a 19°C en zonas de más de 1000 m. Los valores mínimos, entre 20°C y 21°C, corresponden a enero-abril, y los máximos, entre 26°C y 28°C, corresponden a agosto-septiembre. Cuando el viento sopla del desierto (harmatán), las temperaturas pueden subir a 35-37°C entre mayo y octubre. El relieve topográfico provoca nubosidad y mayor humedad en las caras norte de algunas islas.

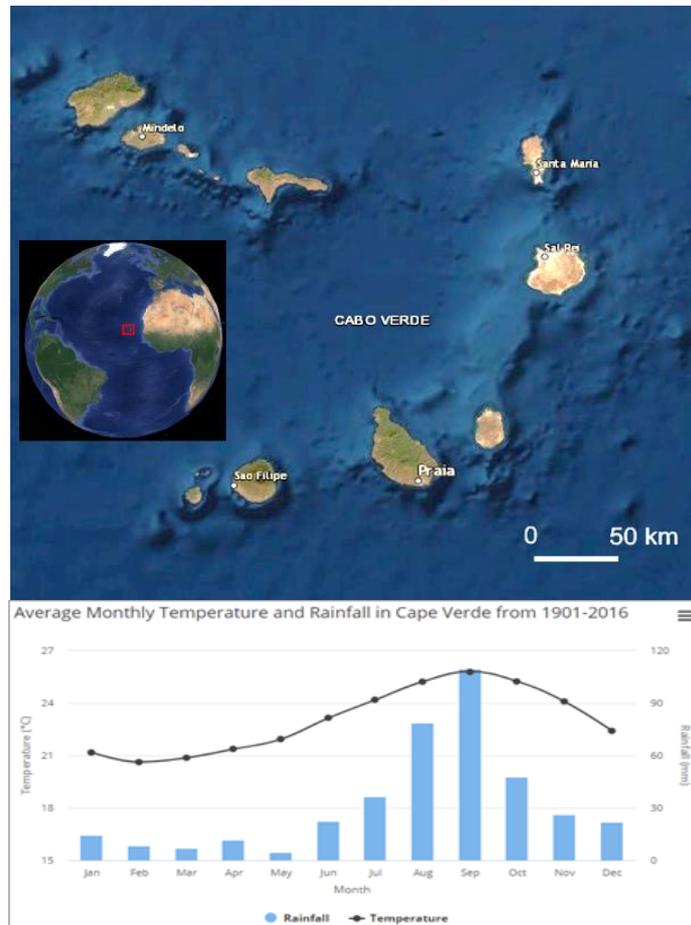


Figura 5.1.1 | Mapa de las 10 islas de Cabo Verde sobre imagen de satélite y climograma (temperatura y precipitación).

En el plano oceanográfico, Cabo Verde se encuentra bajo la influencia de la corriente fría de Canarias y de las variaciones estacionales de la contracorriente cálida ecuatorial del norte (NECC). Cuando la NECC llega a la costa africana, parte del agua fluye por la costa en dirección norte y aparece una masa cálida denominada Corriente de Mauritania (CM). El archipiélago se encuentra cerca del gran afloramiento de Mauritania y se estima que los filamentos de este sistema alcanzan las costas de Cabo Verde y causan una gran producción primaria en el archipiélago.

Por su ubicación, Cabo Verde está expuesto a ondas oceánicas generadas en zonas de *fetch* de miles de kilómetros, produciendo un régimen de tipo *swell*. Las costas se ven afectadas por olas de largo periodo, provenientes esencialmente del norte. Actualmente no existen registros de altura y período de olas en Cabo Verde, por lo que la información proviene fundamentalmente de modelos SWAN (Bernardino et al, 2017).

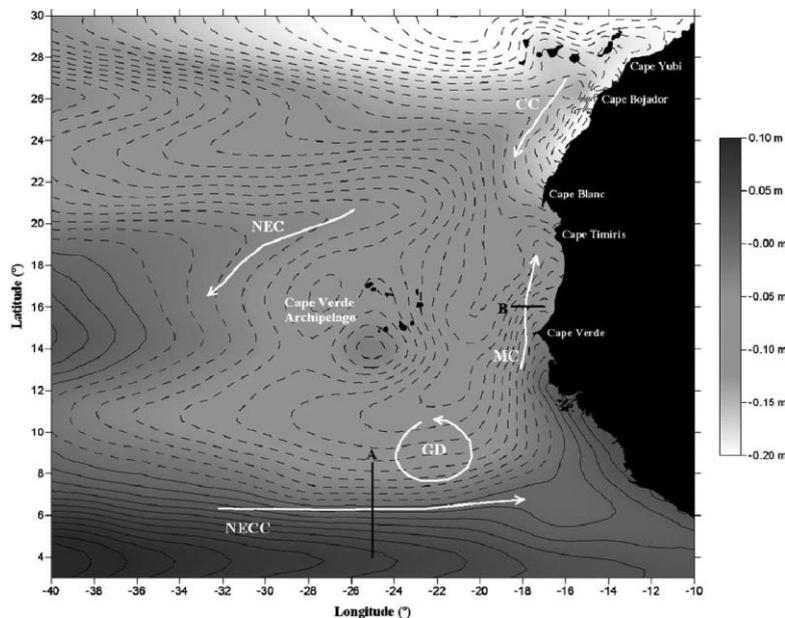


Figura 5.1.2 | Mapa esquemático de la circulación oceánica en Cabo Verde. Los contornos representan las principales corrientes oceánicas superficiales.

5.2. TEMPERATURA

5.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Los datos históricos muestran que la temperatura aumentó en 0.6°C entre 1960 y 2006, y continuará aumentando en las próximas décadas (CCKP). En el perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP) se señala que:

- ✓ La temperatura media anual ha aumentado en 0.6°C desde 1960, a una tasa promedio de 0.14°C por década.
- ✓ La tasa de aumento es más rápida en la estación húmeda, a 0.23°C por década.

Los datos contenidos en el Plan de Ordenamento da Orla Costeira e do Mar Adjacente da ilha de Boavista (POOC-M) muestran una tendencia anual de aumento de la temperatura media entre 1980 y 2018, a una tasa de 0.015 ± 0.005 °C/año.

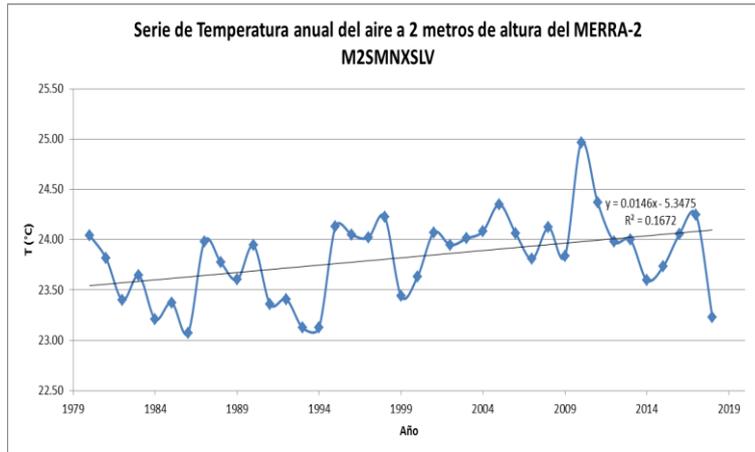


Figura 5.2.1.1 | Serie de temperatura anual del aire. Tasa de aumento anual de 0.015°C/año. Fuente: elaborado a partir de datos MERRA-2.

Cropper y Hanna (2014), de la Universidad de Sheffield (Reino Unido), presentan series de temperatura superficial en Cabo Verde desde 1895, donde encuentran un incremento anual de temperatura entre 0.30 y 0.38°C por década, con un Calentamiento particularmente intenso en verano, del orden de 0.40 a 0.46°C por década.

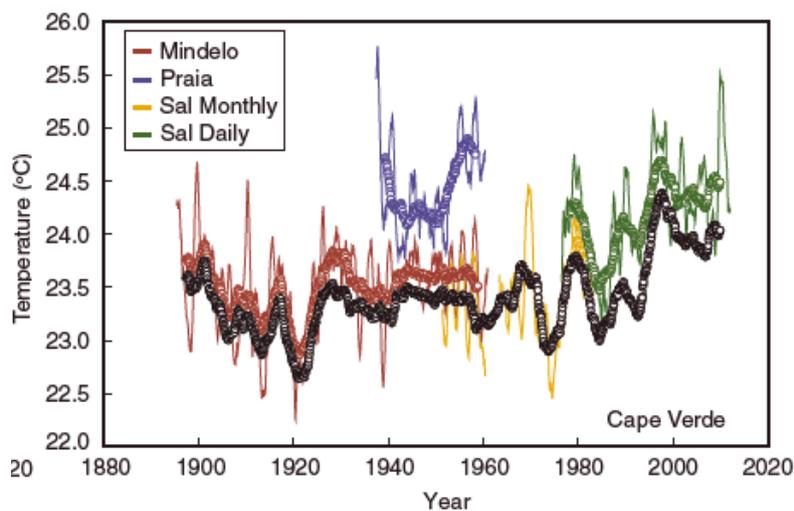


Figura 5.2.1.2 | Serie reconstruida de temperatura mensual en varias estaciones de Cabo Verde desde 1985. Fuente: Cropper y Hanna, 2014.

5.2.2. PROYECCIONES

Con base en los ensamblajes de modelos múltiples (CMIP5), el Portal de Conocimientos sobre el cambio climático (CCKP) respalda las proyecciones de temperaturas incluidas en el quinto informe del IPCC (2013), que han proyectado un aumento en la temperatura media anual de 0.7 a 2.5°C para 2060 y de 1.2 a 3.7°C para 2090. Asimismo, en el perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP) se señala que:

- ✓ La temperatura media anual aumentará entre 0.7 y 2.5°C en la década de 2060, y entre 1.2 y 3.7°C en la década de 2090. Los aumentos de temperatura ocurrirán a un ritmo similar en todas las estaciones.
- ✓ Aumentará sustancialmente la frecuencia de días y noches “cálidos” respecto a los valores actuales (también disminuirán los días y las noches considerados “fríos”). Los días “calurosos” serán entre el 16-32% de los días en 2060 y entre el 23-51% de los días en 2090. Las noches “calurosas” serán entre el 23-49% de las noches en 2060 y entre el 31-79% de las noches en 2090.

En concordancia con esto, Asunção-Ramos (2014), del Instituto Nacional de Gestión de Recursos Hídricos de Cabo Verde, prevé un aumento de la temperatura entre 2-2.5°C para finales de siglo, intensificado en la parte oriental del archipiélago.

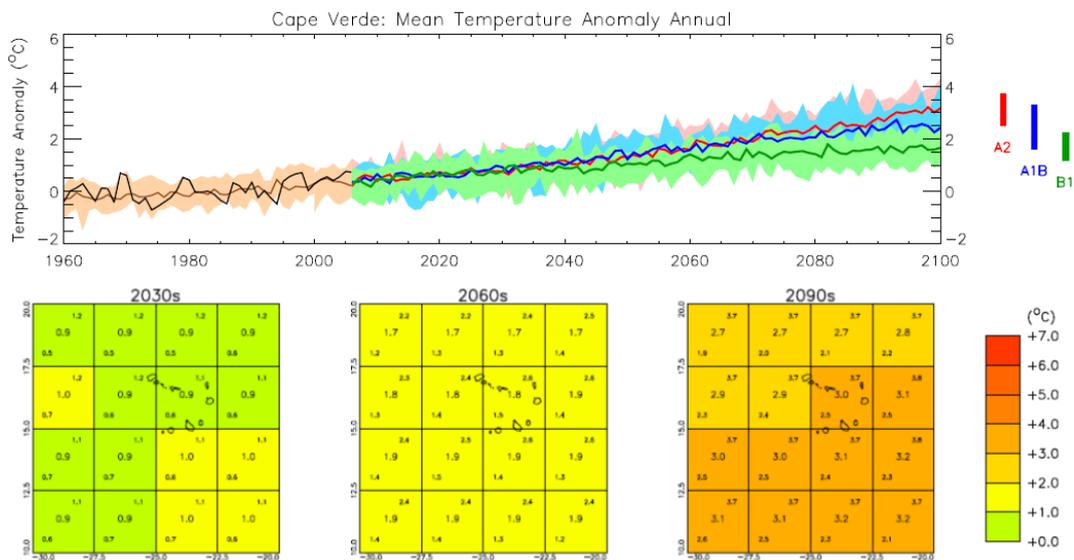


Figura 5.2.2.1 | (Superior) Proyecciones de la temperatura media anual, en relación con la media de 1970-1999, simuladas por 15 modelos para el escenario de emisiones SRES A2. (Inferior) Lo mismo para cuadrículas de mapa. El valor central proporciona la mediana del conjunto y los valores de las esquinas superior e inferior, el máximo y mínimo. Fuente: Perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP).

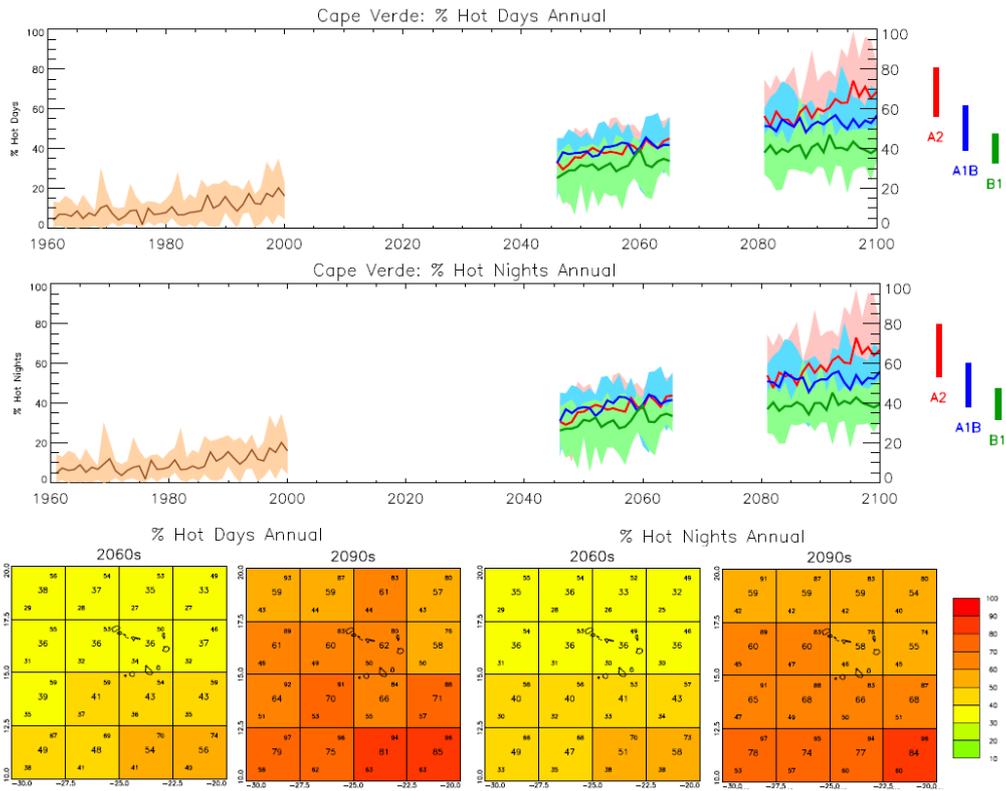


Figura 5.2.2.2 | (Superior) Proyecciones del número anual de días y noches cálidas, en relación con la media de 1970-1999, simuladas por 15 modelos para el escenario de emisiones SRES A2. (Inferior) Lo mismo para cuadrículas de mapa. En cada cuadro de malla, el valor central proporciona la mediana del conjunto y los valores de las esquinas superior e inferior, el máximo y mínimo. Fuente: Perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP).

5.3. PRECIPITACIÓN

5.3.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Según el Portal de Conocimientos sobre el cambio climático (CCKP), en Cabo Verde se ha observado una disminución general de las precipitaciones derivada fundamentalmente de una reducción de las precipitaciones en la estación húmeda.

Estas observaciones estarían apoyadas por Lacerda et al (2015), del Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica de Cabo Verde y del Instituto de Agronomía de Pernambuco (Brasil), quienes presentan observaciones de descenso de precipitaciones del orden de 4 mm por década en la isla de Sal desde 1955 hasta 2005.

CAPE VERDE, SAL

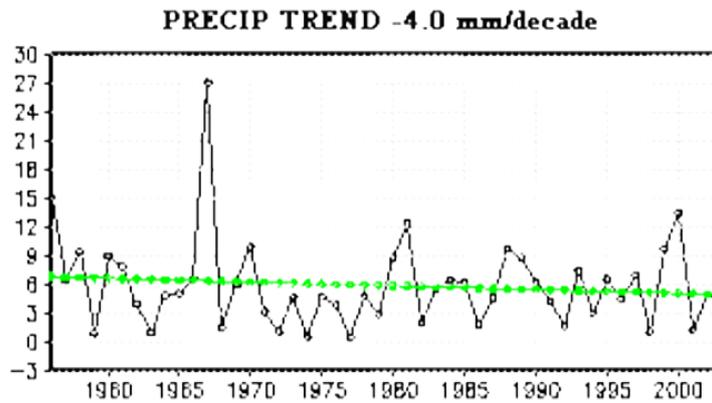


Figura 5.3.1.1 | Tendencia anual de precipitación para la isla de Sal (Cabo Verde) entre 1956 y 2010. Fuente: Lacerda et al, 2015.

Sin embargo, en el Perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP) se señala que:

- ✓ La precipitación media anual en Cabo Verde no ha tenido una tendencia constante desde 1960.
- ✓ No hay suficientes observaciones diarias de lluvia para determinar cambios en extremos de precipitaciones diaria.

Cropper y Hanna (2014), de la Universidad de Sheffield (Reino Unido), también encuentran una tendencia significativamente positiva de la precipitación en la estación húmeda de Cabo Verde desde 1985. Si observamos la serie de precipitaciones 1980- 2019 presentada en MERRA-2 para la isla de Boavista (POOC-M), donde las precipitaciones aumentan partir de julio (con máximos mensuales que pueden llegar a los 130 mm), se observa una tendencia positiva de aumento de la precipitación del orden de 0.3 ± 0.1 mm por año. No obstante, el error estadístico de la tendencia es bastante alto (en torno a un 30%), por lo que habría que tomarla con cautela.

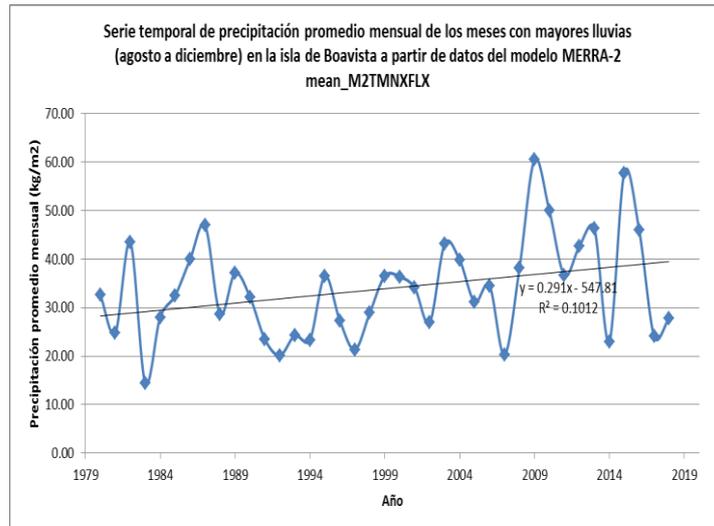


Figura 5.3.1.2 | Precipitación promedio durante la estación de lluvias entre 1980 y 2019. La serie muestra una tendencia positiva, de aumento de la precipitación, de 0.3 ± 0.1 mm por año.

La tendencia cíclica y variable de las precipitaciones es confirmada por Veiga-Pereira et al (2018), de la Universidad de Cabo Verde, que observaron una recuperación de la pluviometría en varias estaciones del archipiélago desde 2008, aunque entre 1969 y 2008 la tendencia media observada fuese de lluvias más escasas, interpretable como un ciclo seco.

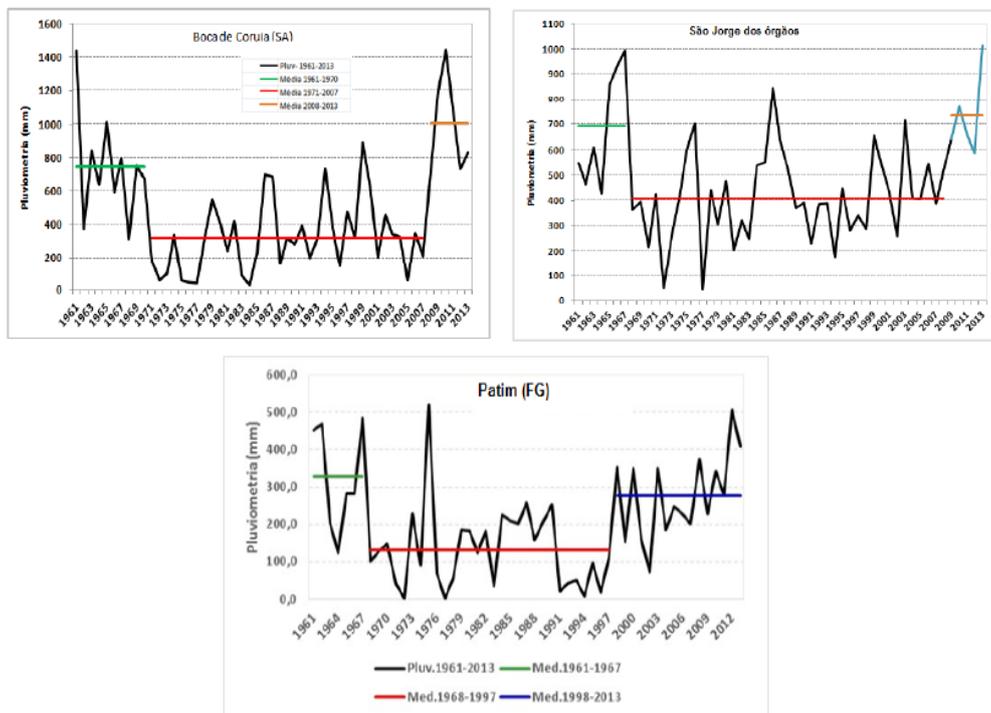


Figura 5.3.1.3 | Comparativa de la variabilidad interanual de la pluviometría en Cabo Verde entre 1961 y 2013. Fuente: Veiga-Pereira et al, 2014.

5.3.2. PROYECCIONES

Los modelos múltiples CMIP5 sugieren que la lluvia podría disminuir hasta un 20% para 2100. Además, se prevé un aumento de la variabilidad climática, con más lluvias torrenciales, inundaciones y sequías y una temporada de lluvias más corta. No obstante, el perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP) señala lo siguiente:

- ✓ Los conjuntos de modelos no son consistentes en cuanto al aumento o disminución de las lluvias en el futuro.
- ✓ Parecen indicar que la precipitación media disminuirá en la época seca, en cantidades relativas importantes, y en la época húmeda podrá experimentar variaciones de un rango de -77% a + 87%.
- ✓ La proyección sobre la frecuencia de eventos extremos también varía según los modelos, que apuntan tanto a aumentos como a disminuciones.

Según Asunção Ramos (2014) del Instituto Nacional de Gestión de Recursos Hídricos de Cabo Verde, la precipitación sufrirá un descenso brusco para finales del presente siglo, reduciéndose entre un 5 y un 20% con respecto a finales del siglo XXI. Asunção Ramos también incide en las variaciones del régimen de precipitaciones en cuanto a la disminución de la frecuencia y el aumento de la intensidad de los eventos de lluvia.

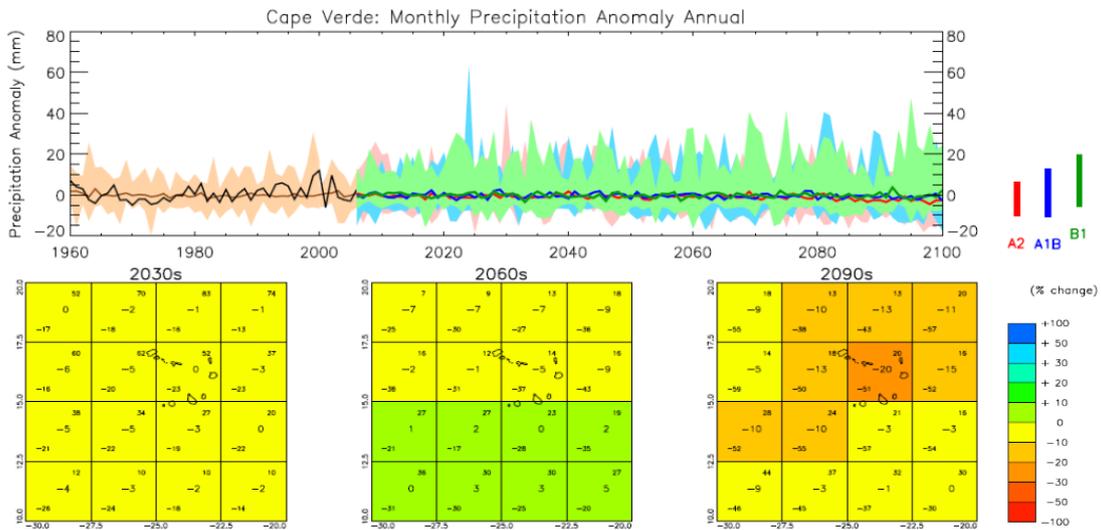


Figura 5.3.2.1 | (Superior) Proyecciones en la precipitación media anual en relación con la media de 1970-1999, simuladas por 15 modelos para cada escenario de emisiones. (Inferior) Patrones espaciales de cambio relativo (%) en la precipitación media bajo el escenario SRES A2. En cada cuadro de malla, el valor central proporciona la mediana del conjunto y los valores de las esquinas superior e inferior, el máximo y mínimo. Fuente: Perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP).

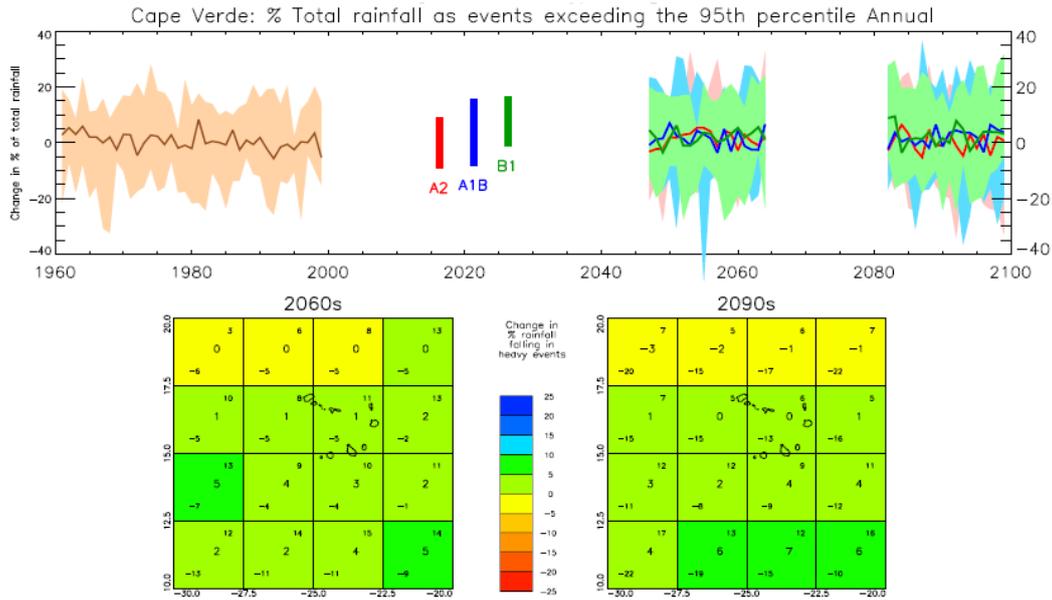


Figura 5.3.2.2 | (Superior) Proyecciones en la precipitación caída en eventos extremos en relación con la media de 1970-1999, simuladas simulados por 15 modelos para cada escenario de emisiones. (Inferior) Cambio relativo (%) la precipitación caída en eventos extremos bajo el escenario SRES A2. En cada cuadro de malla, el valor central proporciona la mediana del conjunto y los valores en las esquinas superior e inferior, el máximo y mínimo la mediana del conjunto y los valores en las esquinas superior e inferior, el máximo y mínimo. Fuente: Perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP).

Christensen et al (2007) advierten que los GCMS no tiene resolución suficiente, por lo que las proyecciones se basan en cálculos sobre la superficie del océano que no tienen en cuenta las influencias físicas del relieve de las islas. Y añaden que los modelos climáticos adolecen de errores significativos en la simulación de la posición de la Zona de Convergencia del Intertropical en el Atlántico y en la previsión de la frecuencia de ciclones, lo que causa importantes errores sistemáticos en las proyecciones de lluvia simuladas en esta región.

5.4. NIVEL DEL MAR

5.4.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Según el POOC-M, mediante datos obtenidos del Sea Surface Height v4r3, del consorcio ECCO (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean) de la NASA, entre 1991 y 2015 se observa una estacionalidad con valores más bajos del nivel del mar en los primeros 8 meses del año y valores más elevados hacia el final del año. Sin embargo, se observa una tendencia positiva de ascenso del nivel del mar con un aumento de 0.19 ± 0.03 cm/año.

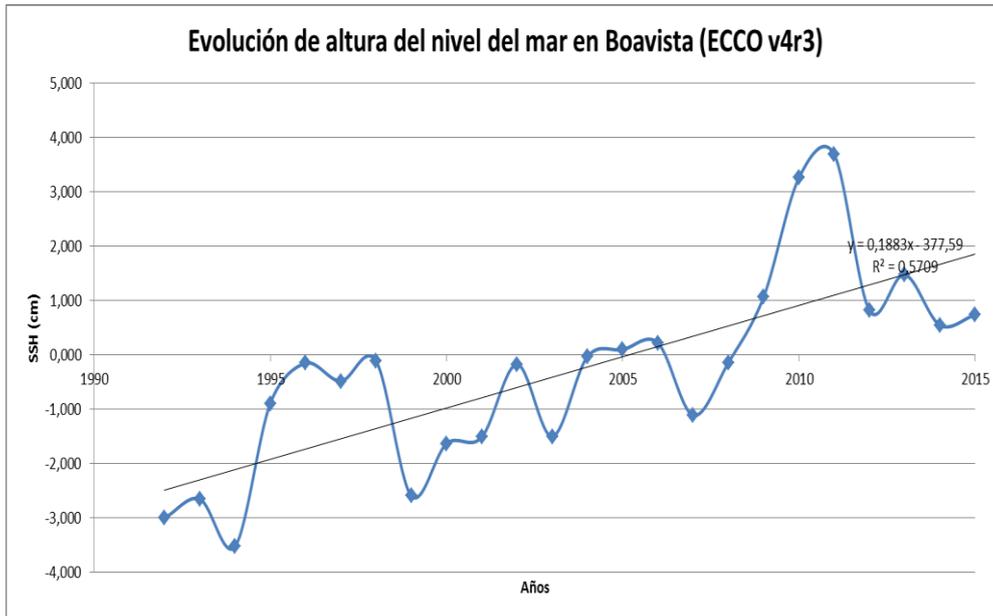


Figura 5.4.1.1 | Temperatura promedio anual de la superficie del mar en Boa Vista.

Los resultados obtenidos en el POOC-M nos ofrece datos de la temperatura en la superficie del mar, donde podemos observar un aumento de 0.3 °C cada 10 años, con una tendencia de $0,028 \pm 0,005$ °C/año. De esta serie de datos se puede obtener una estacionalidad, siendo las temperaturas máximas del agua a finales de verano (octubre) en torno a 26.6 °C en el año 2000 y de 27 °C en el año 2018.

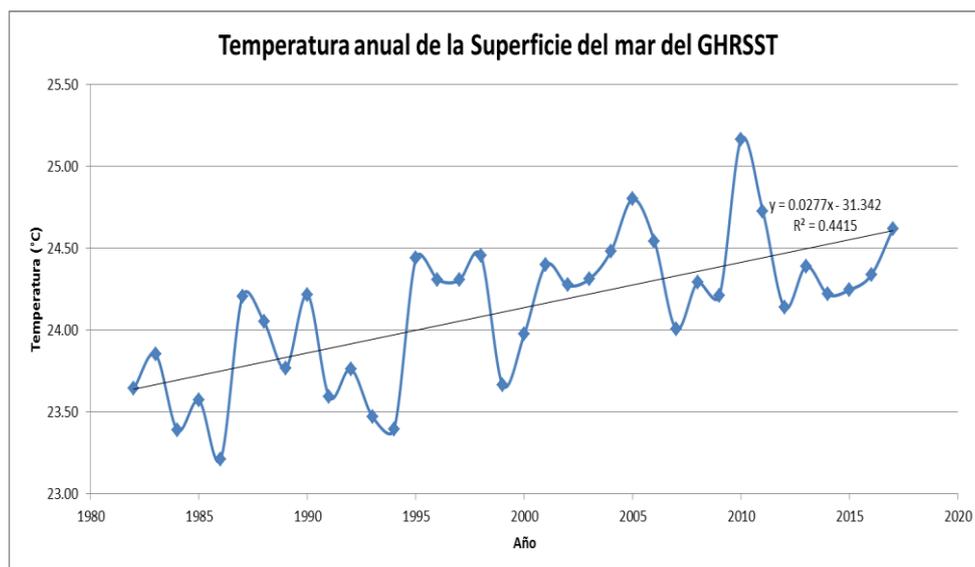


Figura 5.4.1.2 | Temperatura promedio anual de la superficie del mar. Fuente: GHRST.

Sin embargo, Beckley et al (2007) muestran un aumento mayor, con tendencias entre 0.2 y 0.3 cm/año.

5.4.2. PROYECCIONES

Según los estudios globales realizados por el Panel Internacional del cambio climático, IPCC (2014), en toda la región de la costa oeste de África se espera una subida del nivel del mar de 0.26 m en 2050 y de 0.47 m para el 2100. En este mismo sentido, el Perfil de cambio climático de Cabo Verde (UNDP) señala para la década de 2090, aumentos de:

- ✓ 0.13 a 0.43m bajo RCP2.6.
- ✓ 0.16 a 0.53m bajo RCP4.5.
- ✓ 0.18 a 0.56m bajo RCP8.5.

5.5. OLEAJE

5.5.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Por su ubicación, Cabo Verde está expuesto a oleajes de fondo (swell) provenientes sobre todo del Atlántico Norte. A falta de observaciones sobre altura y periodo, la información del régimen de oleaje de Cabo Verde proviene de las simulaciones numéricas mediante el modelo SWAN de Bernardino et al (2017). Por otro lado, al no existir observaciones, no se han encontrado estudios acerca de tendencias históricas.

Se puede observar que la dirección de onda dominante es de Norte. Las distribuciones direccionales estudiadas en cinco referencias muestran que la dirección principal de las olas es NNO. Esta dirección de onda predominante junto con el efecto de sombra, explica el hecho de que los valores de H_s son más bajos al sur de las islas. En el caso de T_p , los valores medios del campo indican que el swell (mar de fondo) representa el componente dominante de los estados del mar. El oleaje es aproximadamente un 40% mayor en los meses de invierno.

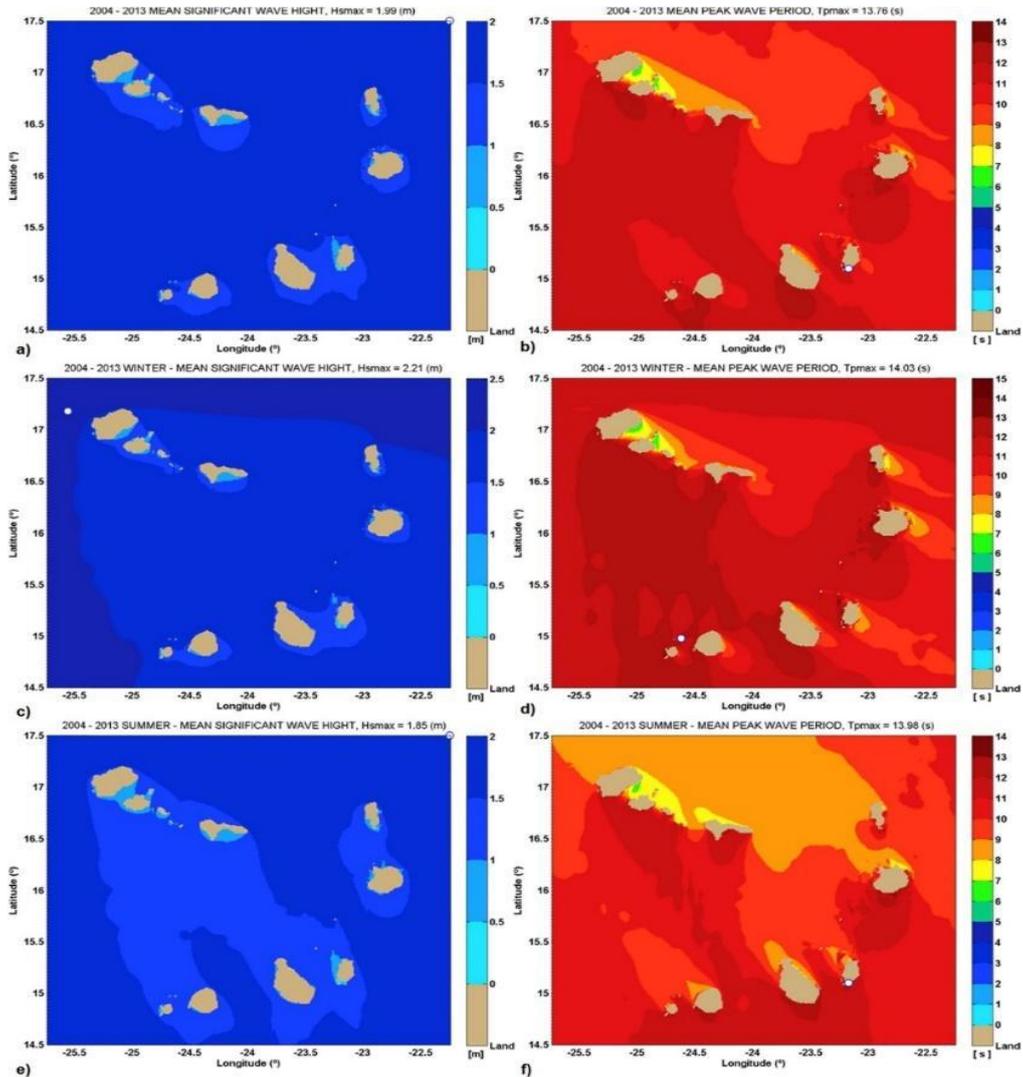


Figura 5.5.1.1 | Distribución espacial de las medias de H_s (izquierda) y T_p (derecha) correspondiendo al periodo 2004 – 2013 de simulaciones SWAN. a) y b) media de H_s y T_c ; c) y e): valores estacionales de H_s ; d) y f): distribución estacional de T_p . Fuente: Benardino et al, 2017.

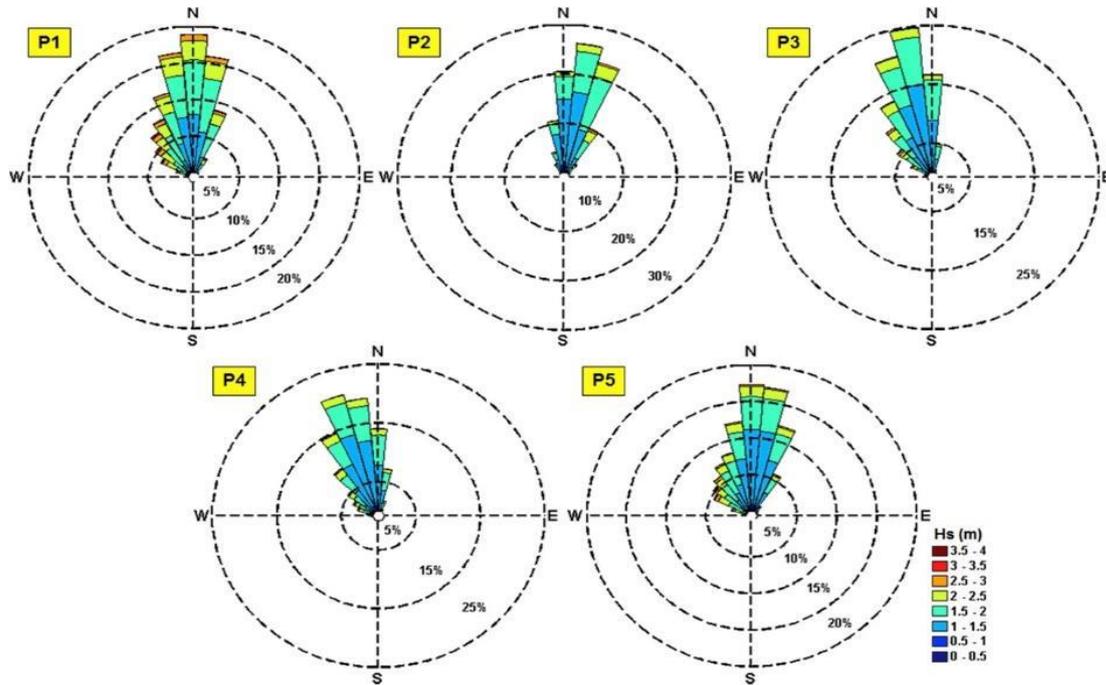


Figura 5.5.1.1 | Distribución de las direcciones y clases de Hs para 5 puntos en Cabo Verde, resultado de la simulación de modelos SWAN durante 10 años (2004-2013). Fuente: Benardino et al. (2017).

5.5.2. PROYECCIONES

No se han encontrado estudios relevantes acerca de proyecciones de cambio en el régimen de oleaje en Cabo Verde.

Tabla 5.5.2.1 | Resumen de resultados históricos en Boa Vista. En general se ha obtenido tendencias positivas en todas las variables. En el caso de la precipitación la tendencia no es clara debido al elevado grado de error, en torno a un 30%.

Parámetro analizado	Tipo de datos - Fuente	Características estacionales	Resolución espacial y periodo analizado	Tendencia anual y precisión
Temperatura mensual media de la superficie del mar	Modelo-teledetección GHRSSST de la Nasa	Temperaturas máximas en octubre (26-27°C) y mínimas en febrero (21°C)	4 km 1982-2017	0.028 ± 0.005°C/año
Temperatura mensual media del aire a 2 m de altura	Modelo-con asimilación MERRA-2 M2SMNXSLV de la NASA	Temperaturas máximas en agosto (26-27°C) y mínimas en febrero 20,5-22.5°C)	0,5° (50 km) 1980-2018	0.015 ± 0.005°C/año
Precipitación acumulada media mensual	Modelo con el bias corregido, MERRA-2 mean_M2TMNXFLX	Precipitación casi nula entre febrero y julio. 15 - 60 kg/m ² entre agosto y enero	0.5° (50 km) 1980-2018	0.3 ± 0,1 kg/m ² año
Altura del nivel del	Teledetección, Sea	-30 cm durante los	90 km	0.19 ± 0.03 cm/año

mar mensual medio	Surface Height v4r3 del ECCO	primeros 8 meses y +30 cm en los últimos 4 meses del año (octubre)	1991-2015	
-------------------	------------------------------	--	-----------	--

5.6. IMPACTOS PRINCIPALES

Los modelos climáticos realizados durante la evaluación de NAPA (National Adaptation Plan) para el período 2008-2012 han demostrado la probabilidad de que las vulnerabilidades naturales de Cabo Verde, junto con las sociales y económicas, se vean aumentadas por los fenómenos relacionados con el clima en las próximas décadas. Estos incluyen eventos extremos más frecuentes, como inundaciones y sequías, así como temporadas de lluvias más cortas, con impactos inmediatos en los recursos, las infraestructuras, las condiciones sanitarias y la productividad de los cultivos.

5.6.1. EROSIÓN

Las lluvias torrenciales, incrementadas por efecto del cambio climático, están fuertemente relacionadas con el índice de erosión de los suelos en Cabo Verde, provocando asimismo movimientos en masa y deslizamientos que pueden provocar importantes daños materiales, desabastecimiento de agua potable y daños en infraestructuras tanto de suministro eléctrico como de transporte.

El efecto de la pérdida de suelo por erosión superficial en Cabo Verde es la desertificación, un proceso complejo, difícil de delimitar y solucionar, y que conduce a una pérdida de productividad de los suelos y a una pérdida de masa forestal.

Para combatir el efecto de las lluvias torrenciales sobre la pérdida de suelo apto para el cultivo y evitar formación de cárcavas, se requiere una reestructuración y modificación del terreno. Un ejemplo de respuesta positiva es el recalado por Martins y Ribeldo (2015), de la universidad de Coimbra, quienes destacan la reestructuración en forma de terrazas para la agricultura y la formación de diques para evitar avenidas torrenciales en la isla de Sao Vicente.

5.6.2. INUNDACIONES

Según el POOC-M, una de las consecuencias más graves del cambio climático en Cabo Verde es el incremento de los procesos de inundación costera debido al aumento del nivel del mar y al aumento de la incidencia de temporales o de la magnitud de los mismos.

Para Cabo Verde, un país insular, la reducción de las costas debido al posible aumento en el nivel del mar podría ser una gran limitación para el desarrollo y afectaría dramáticamente a la población costera (80% del total), al turismo y a los hábitats naturales. En Cabo Verde, las inundaciones por efecto del aumento del nivel del mar aumentarán la salinidad de los pozos y pro-

vocarán el desplazamiento de personas a los territorios interiores y el abandono de Instalaciones turísticas costeras.

5.6.3. SEQUÍAS

Casi el 70% de la población vive en zonas rurales y las sequías tienen un impacto negativo en la seguridad alimentaria en Cabo Verde. Cabo Verde dispone ya de menos de 500 m³ año/persona para satisfacer las necesidades en términos de agricultura, industria, energía y medio ambiente. Se estima que se usan alrededor de 60,000 m³ por día para regar unas 1,600 ha de tierra, lo que significa que el 50% del volumen de agua disponible se usa para riego, mientras que la demanda de agua para uso industrial y turismo se estima en 5.500 m³ por día. Con una precipitación promedio de 225 mm/año, aproximadamente el 20% del agua de la lluvia se pierde a través de la escorrentía superficial, el 13% se infiltra en acuíferos y el 67% se evapora.

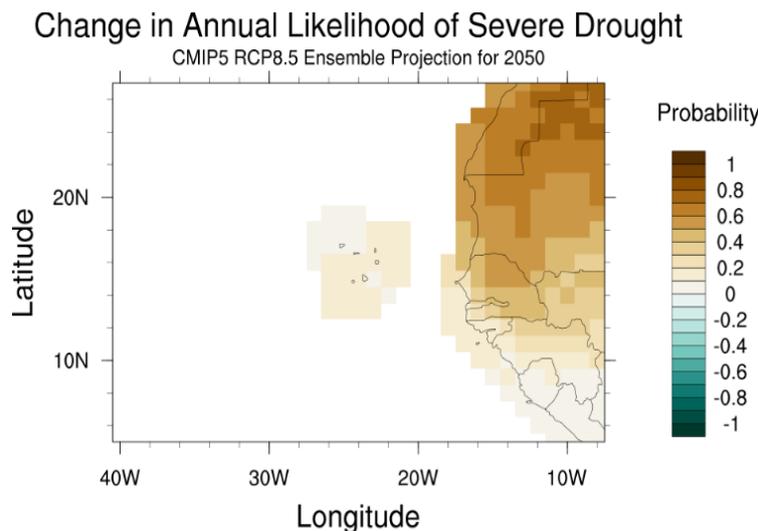
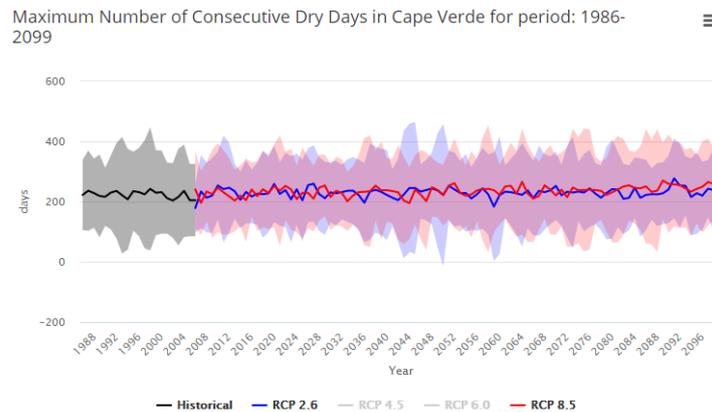


Figura 5.6.3.1 | (Superior) Previsión general de aumento del número máximo anual promedio de días secos consecutivos para los escenarios de las emisiones más altas En Cabo Verde, un "día seco" es un día sin precipitaciones significativas desde el punto de vista agrícola, que generalmente

se define por un umbral de 0.1 mm/día. (Inferior) Previsión de aumento de la probabilidad de sequía severa o frecuencia con la que se esperan condiciones secas prolongadas para 2050, utilizando el RCP8.5.

Los cambios en los patrones de lluvia y temperatura tendrán un impacto negativo en los agricultores más pobres que dependen de la agricultura de secano y operan con recursos limitados en entornos frágiles muy sensibles a las alteraciones en el régimen hídrico. La temporada de lluvias ya se ha acortado en las últimas décadas, y si estos eventos persisten existe la posibilidad de reducir la productividad agrícola, aumentar la inseguridad alimentaria, generar pobreza e incrementar la migración campo-ciudad.

5.6.4. BIODIVERSIDAD Y SALUD

Veiga Pereira et al (2018), de la Universidad de Cabo Verde, Instituto Nacional de Meteorología e Geofísica (Cabo Verde) y Universidade Federal do Ceará (Brasil), inciden en que Cabo Verde se encuentra en un punto crítico en lo que respecta a la conservación de corales. El aumento de la temperatura del agua de mar afecta en gran medida la presencia de arrecifes y fuerza la migración de peces a aguas más frías, afectando a los recursos pesqueros. A su vez la acidificación del océano por el aumento de la temperatura podría provocar la muerte de algunas especies de fitoplancton y corales que a su vez afectarían a la disponibilidad de peces en el área. También el efecto de fenómenos marítimos extremos puede dañar las infraestructuras y aumentar la turbidez del agua, afectando a las especies más sensibles, como el coral. Asimismo, un aumento en el nivel del mar puede poner en peligro la protección, conservación y preservación de la tortuga marina en las islas de Fogo, Boa Vista y Maio.

Estos autores destacan también la proliferación del mosquito *Aedes aegypti* transmisor de Dengue o Zika, tal y como se atestiguó en 2009, después de un periodo de fuertes precipitaciones seguido de un pico de temperatura, dando como resultado 11.345 casos de Dengue con 6 muertes. Otro caso ocurrió en 2015, con la aparición de Zika nunca antes visto en el país. El brote de enfermedades epidémicas infecciosas y parasitarias tiende a empeorar debido al alargamiento del período de reproducción de los vectores de transmisión de enfermedades como los mosquitos. Por otro lado, el probable aumento de eventos de Calima, podría afectar a la salud aumentando afecciones como asma, bronquitis, alergias.

5.7. PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

Partiendo de las prioridades identificadas durante el desarrollo del NAPA (Programa Nacional de Adaptación), Cabo Verde propone centrar sus acciones de adaptación en los siguientes ejes estratégicos: promover la gestión integrada de los recursos hídricos; aumentar las capacidades de adaptación de los sistemas de producción agrarios; y proteger y prevenir la degradación de las zonas costeras. Además, Cabo Verde ampliará aún más las medidas y acciones ya iniciadas

con apoyo internacional, destinadas a aumentar las reservas de agua subterránea, las prácticas de conservación de la tierra, las medidas para mitigar las inundaciones e interceptar la escorrentía, y ampliar las prácticas de riego más eficientes (NDC, 2017). Actualmente, Cabo Verde a presentado los siguientes informes de adaptación:

- ✓ PLAN ESTRATÉGICO NACIONAL DE AGUA Y SANEAMIENTO (PLENAS).
- ✓ PLAN NACIONAL DE SANEAMIENTO BÁSICO.
- ✓ PROGRAMA DE ACCIÓN NACIONAL DE ADAPTACIÓN (NAPA).
- ✓ ESTRATEGIA DE CRECIMIENTO Y REDUCCIÓN DE LA POBREZA (DECRP).
- ✓ PLAN NACIONAL DE ACCIÓN AMBIENTAL (PANA).
- ✓ PLAN ESTRATÉGICO PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA (PEDA).
- ✓ PLANES DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA (PADA).
- ✓ PROGRAMA NACIONAL DE SEGURIDAD ALIMENTARIA.

Tabla 5.7.1 | Resumen de los principales objetivos de adaptación al cambio climático en Cabo Verde (Fuente: CCKP).

AGRICULTURA	<ul style="list-style-type: none"> -Promover técnicas de riego a pequeña escala más eficientes y formas de conservación del suelo para agricultores y productores rurales. -Diversificar las actividades generadoras de ingresos en las zonas rurales mediante la promoción de actividades de pesca artesanal (capacitación, equipo, micro-crédito) en las zonas costeras. -Promover la economía "azul" de Cabo Verde mediante, entre otras cosas, el apoyo a nuevas técnicas de acuicultura, la mejora de la calidad de los productos pesqueros y la promoción del turismo y de los deportes sostenibles. -Fortalecer la gobernanza, el desarrollo de estrategias y el desarrollo de capacidades.
AGUA	<ul style="list-style-type: none"> -Establecer una base de datos electrónica para el almacenamiento y la gestión de la información relevante relacionada con el agua. -Construir unidades nuevas de desalinización y bombeo de agua para reducir los costos generales de energía y de suministro de agua potable y de riego. -Ensayar soluciones descentralizadas de energía renovable y tecnologías más eficientes. -Promover nuevas técnicas de almacenamiento y distribución de agua y construir 5 nuevas represas para 2030. -Desarrollar planes de agua y saneamiento para cada isla y alentar la participación del sector privado a través de diferentes incentivos de negocio, como concesiones, privatizaciones, arrendamientos y políticas tarifarias equitativas. -Aumentar la resiliencia urbana mediante el desarrollo de planes para el drenaje del agua de lluvias torrenciales e implementar sistemas de gestión de inundaciones en áreas vulnerables.
ZONA COSTERA	<ul style="list-style-type: none"> -Rehabilitar o construir infraestructuras para la protección de las zonas



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

costeras contra el aumento del nivel del mar y la erosión de las playas.
-Implantar acciones para la adaptación de las actividades y comunidades pesqueras, basándose en los escenarios y estrategias desarrollados por el Instituto Nacional de Desarrollo Pesquero (INDP).



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

6

ISLAS CANARIAS

6.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES

Canarias se encuentra en la zona de transición entre las regiones templadas y tropicales. El Archipiélago, por su ubicación, debería de tener un clima cálido y seco, sin embargo, factores como la insularidad y el relieve dan lugar a considerables contrastes de precipitaciones y de temperaturas. El clima de las Islas está dominado por el anticiclón de las Azores y los vientos alisios del norte asociados. Se caracteriza por unas precipitaciones muy escasas e irregulares, en las zonas bajas, y otras que pueden llegar a los 800-1,000 mm anuales en las vertientes de barlovento expuestas a los vientos marítimos. Las condiciones térmicas son suaves. En general, las temperaturas más cálidas se registran en el sur de todas las islas y en las islas bajas, donde la media anual supera los 20°C. A medida que subimos en altitud, la temperatura media anual desciende, a 14°C por ejemplo en las cumbres de Gran Canaria, o hasta 5°C en las Cañadas del Teide en Tenerife.

El clima marítimo se caracteriza por la dominancia de los oleajes de fondo provenientes del norte y por el oleaje de viento, de NNE, generado por los vientos alisios. El archipiélago da nombre a la corriente marina que baña toda la región (corriente de Canarias), de características térmicas frías.

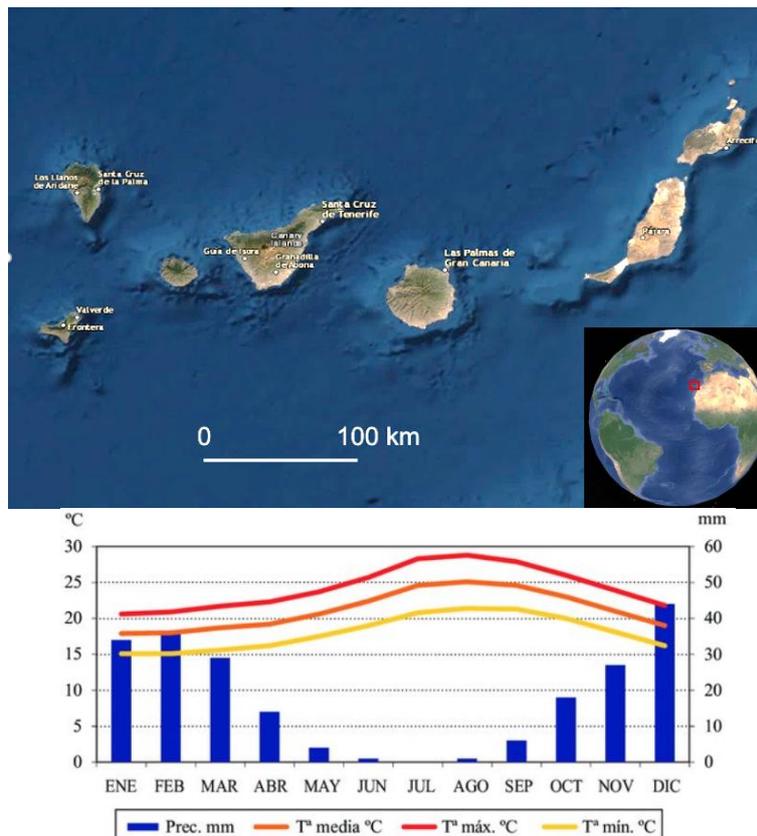


Figura 6.1.1 | Imagen de satélite de las islas Canarias y climograma de Santa Cruz de Tenerife (a nivel de costa).

6.2. TEMPERATURA

6.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

El análisis de las temperaturas es el que muestra resultados más concluyentes y más sólidos desde una perspectiva estadística (Dorta et al, 2018).

Según las series analizadas por Cropper y Hanna (2014), de la Universidad de Sheffield (Reino Unido), en varios puntos del archipiélago, la tendencia de la temperatura media en Canarias desde 1885, es de un ascenso medio de 0.10°C por década, habiéndose producido un calentamiento particularmente intenso de los meses de verano.

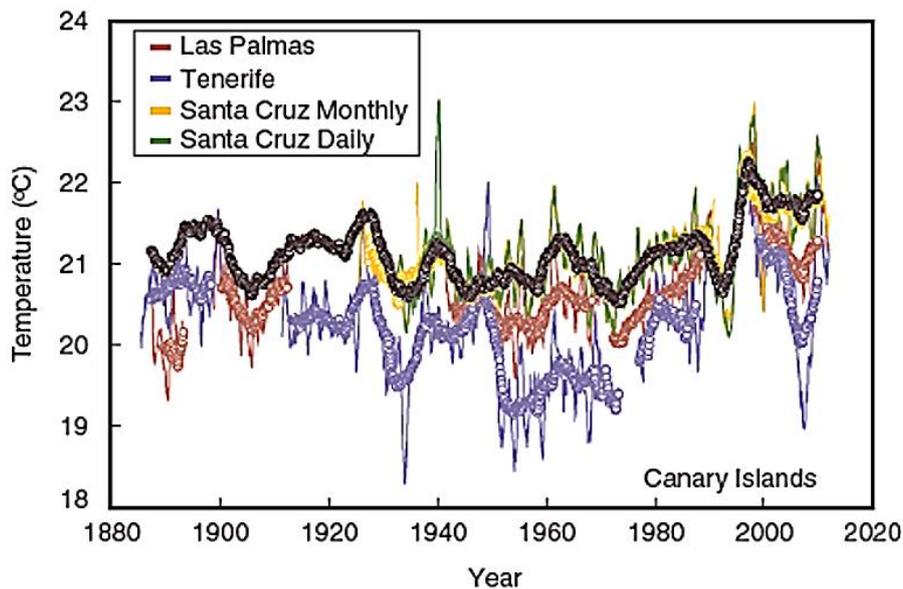


Figura 6.2.1.1 | Serie reconstruida de temperatura mensual de varias estaciones de Canarias desde 1885. Fuente: Cropper y Hanna, 2014.

En el trabajo de Luque et al (2014), se detecta una aceleración de la tendencia de aumento de temperatura desde los años 70 del pasado siglo en la isla de Gran Canaria. Así, la tendencia general desde 1946 a 2010 habría sido de $0.09 \pm 0.05^{\circ}\text{C}/\text{década}$, y de casi el doble, $0.17 \pm 0.10^{\circ}\text{C}/\text{década}$, entre 1970 y 2010. Este aumento fue mayor durante la noche ($0.11^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}\text{C}$) que durante el día ($0.08^{\circ}\text{C} \pm 0.06^{\circ}\text{C}$), por lo que el rango de temperatura disminuyó ligeramente. Estos valores serían similares a los de Tenerife, estando las series temporales de anomalías altamente correlacionadas para las dos islas.

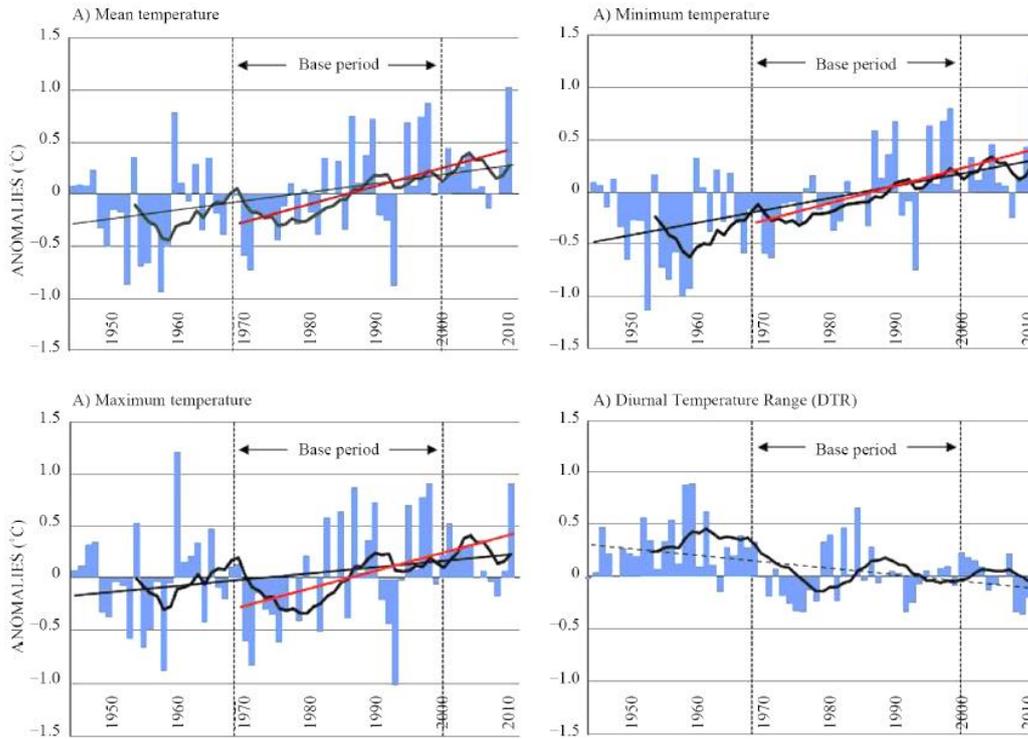


Figura 6.2.1.2 | Gráfico de anomalías en la temperatura media, máxima y mínima y el rango de temperatura media diaria (DTR) mensual de la serie de referencia general para la isla de Gran Canaria. La línea discontinua indica una tendencia no significativa. Fuente: Luque et al, 2014.

De acuerdo con el Estudio de Impacto ambiental (EIA) del “Proyecto de la urbanización Casas de Majanicho – SAU 12 NNSS La Oliva” (elitoral SLNE, 2019), los datos de temperatura media mensual entre 1980 y 2018 muestran una tendencia de aumento anual de 0.006 ± 0.004 °C/año para la zona del norte de Fuerteventura.

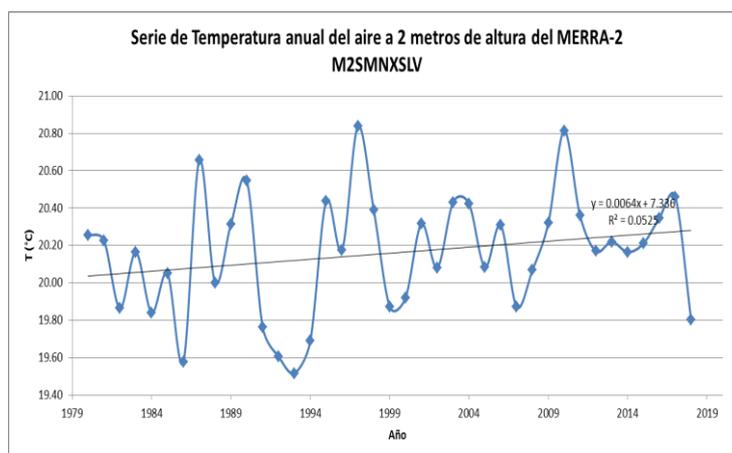


Figura 6.2.1.3 | Tendencia de temperatura anual del aire en el norte de Fuerteventura según datos MERRA-2 M2SMNXSLV. Fuente: EIA-Majanicho (elitoral SLNE, 2019).

Dorta et al (2018), de la Universidad de La Laguna (Tenerife, islas Canarias), sintetizan los conocimientos actuales en relación a las tendencias históricas de temperatura en Canarias, en los siguientes puntos:

- ✓ Aumento térmico general entre 1901 y 2010 para todo el archipiélago canario (Cropper and Hanna, 2014), intensificado a partir de los años 70-80 del siglo XX con valores por encima de la media global (Sperling et al, 2004; Martín et al, 2012; Cropper, 2013; Cropper y Hanna, 2014; Luque et al, 2014; Hernández et al, 2012).
- ✓ Ascenso térmico más pronunciado en los valores mínimos que en los máximos (Martín et al, 2012; Luque et al, 2014; Sanroma et al, 2010).
- ✓ Ascenso más pronunciado en verano (Cropper y Hanna, 2014).
- ✓ Aumento apreciable del número de noches tropicales, aquellas con más de 20°C (Máyer y Marzol, 2014).
- ✓ Aumento de las temperaturas más acusado en la alta montaña (Martín et al, 2012; Sanroma et al, 2010).
- ✓ Incremento más patente en las islas orientales que en las occidentales, donde incluso no es significativo en El Hierro y La Palma (Cropper, 2013), aunque otros autores si encuentran incrementos importantes en estas islas (1970-2010) (Hernández et al, 2012).

6.2.2. PROYECCIONES

La proyección de la tendencia observada en los datos de temperatura en el EIA-Majanicho (elit-toral SLNE, 2019), supondría un aumento aproximado entre 0.1 y 0.5 °C en los próximos 50 años.

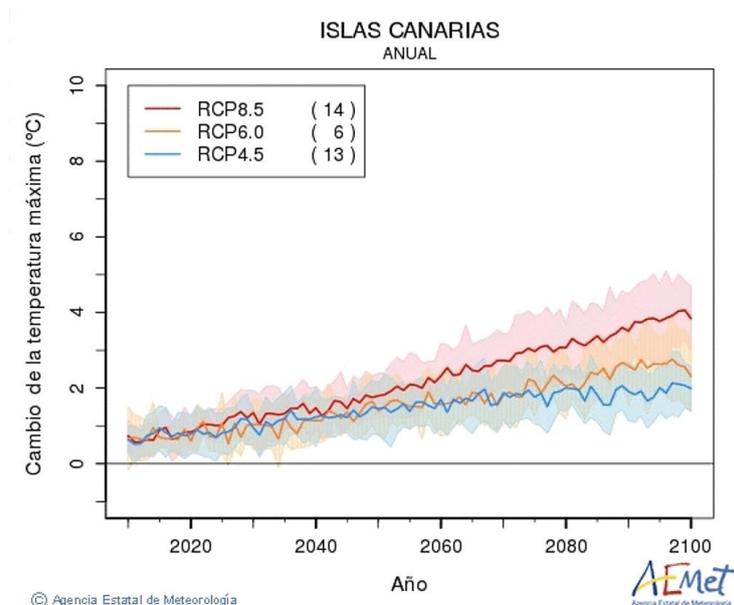


Figura 6.2.2.1 | Proyecciones de aumento de la temperatura máxima anual para las islas Canarias.
Fuente: AEMET, 2017.

AEMET (2017), en base al informe IPCC-AR5, analiza y expone los 3 escenarios posibles, con un aumento de la temperatura máxima en el año 2100 de entre 1°C, para el escenario más suave, y de en torno a 4 °C para el escenario más extremo.

Estos datos coinciden en parte con los obtenidos por Expósito et al (2015), de la Universidad de La Laguna (Tenerife, islas Canarias). En este trabajo se utiliza una técnica WRF para realizar una regionalización climática del archipiélago a partir del reanálisis de 14 modelos climáticos globales, obteniendo resultados a resolución horizontal de 5 km. Las simulaciones abarcan las décadas 2045–54 (mediados de siglo) y 2090–99 (finales de siglo), para los escenarios de concentración de gases RCP4.5 y RCP8.5, definidos en la fase 5 del Coupled Model Intercomparison Project.

Los resultados de Expósito et al (2015) muestran aumentos de entre 0 y 4°C, de la temperatura mínima media diurna y de la temperatura máxima media diurna, para todos los escenarios, islas y horizontes temporales, con especial incidencia en las islas occidentales hacia finales de siglo bajo el escenario RCP8.5.

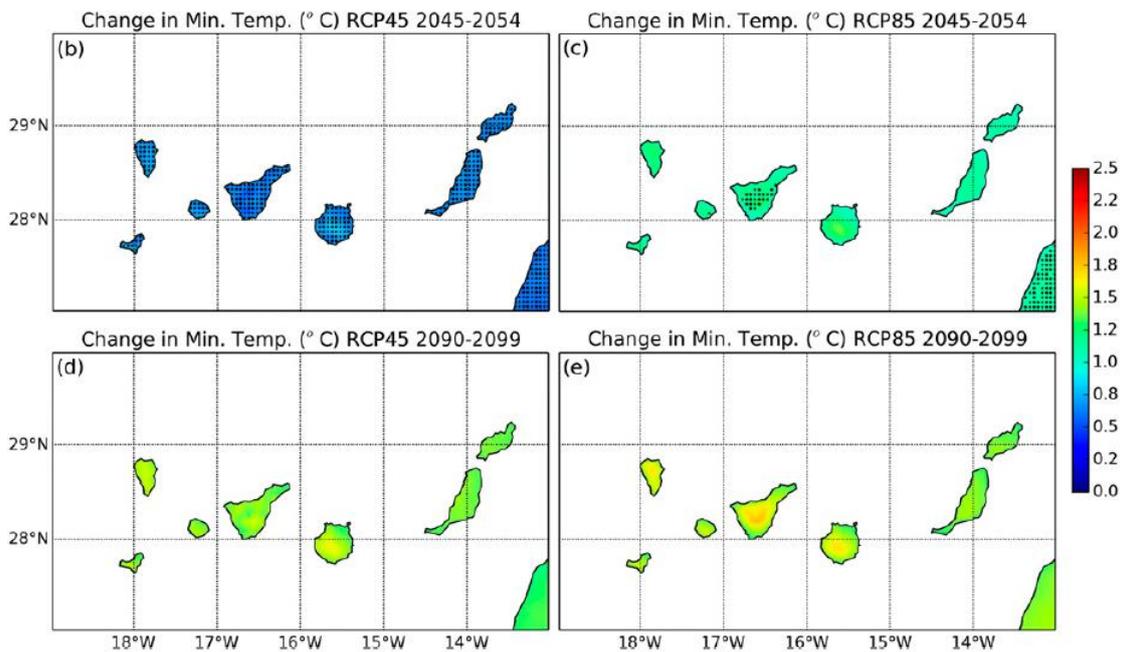


Figura 6.2.2.2 | Proyecciones de aumento-disminución de la temperatura mínima media diurna para a mediados (arriba) y finales de siglo (abajo), bajo dos escenarios de emisiones de efecto invernadero: (a), (c) RCP4.5 y (b), (d) RCP8.5. El punteado negro indica áreas sin significancia estadística. Fuente: Expósito et al, 2015.

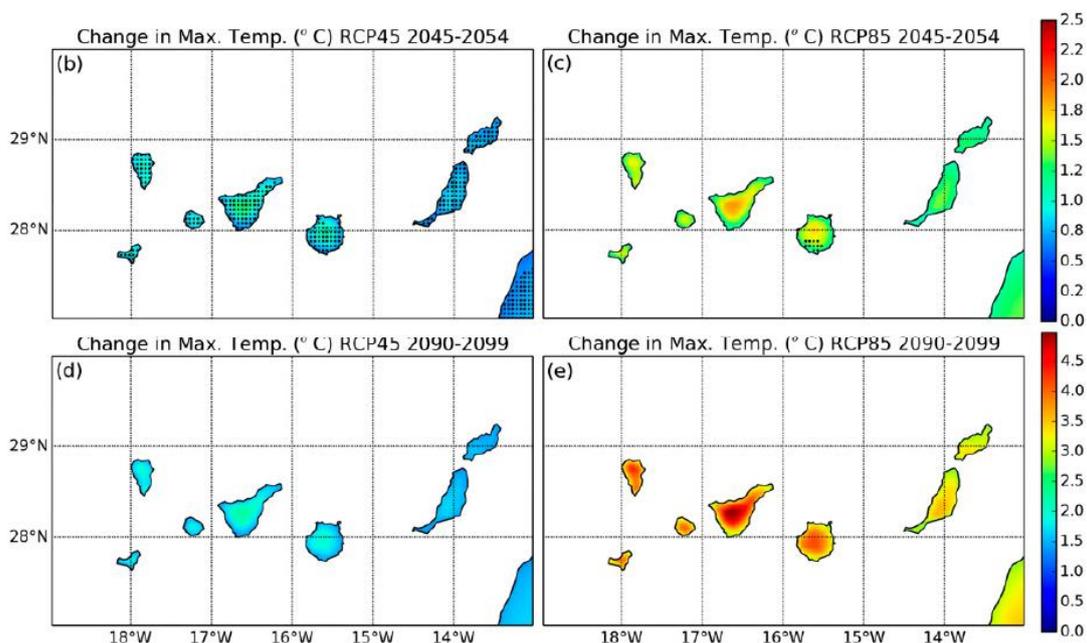


Figura 6.2.2.3 | Proyecciones de aumento-disminución de la temperatura máxima media diaria para a mediados (arriba) y finales de siglo (abajo), bajo dos escenarios de emisiones de efecto invernadero: (a), (c) RCP4.5 y (b), (d) RCP8.5. El punteado negro indica áreas sin significancia estadística. Fuente: Expósito et al, 2015.

6.3. PRECIPITACION

6.3.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Las precipitaciones durante el siglo XX en Canarias, y particularmente desde la década de los setenta, han tendido a la baja, aunque su alta variabilidad impide hacer un juicio más taxativo (ECCE, 2005). La lluvia es un elemento más difícil de tratar desde una perspectiva estadística y, mucho más en Canarias, donde la irregularidad es tal vez su principal característica (Dorta et al, 2018).

Las series de precipitación en Canarias desde 1885, analizadas por Cropper y Hanna (2014), de la Universidad de Sheffield (Reino Unido), indican una ausencia de cambios estadísticamente significativos en el archipiélago. La serie de datos 1980-2018 del norte de Fuerteventura (elit-toral SLNE, 2019), fuertemente estacional, indicaría una tendencia a la disminución de las precipitaciones en los meses lluviosos, del orden de $-0.13 \pm 0.1 \text{ kg/m}^2$ por año, aunque esta tendencia hay que tomarla con mucha cautela puesto que presenta una significancia baja.

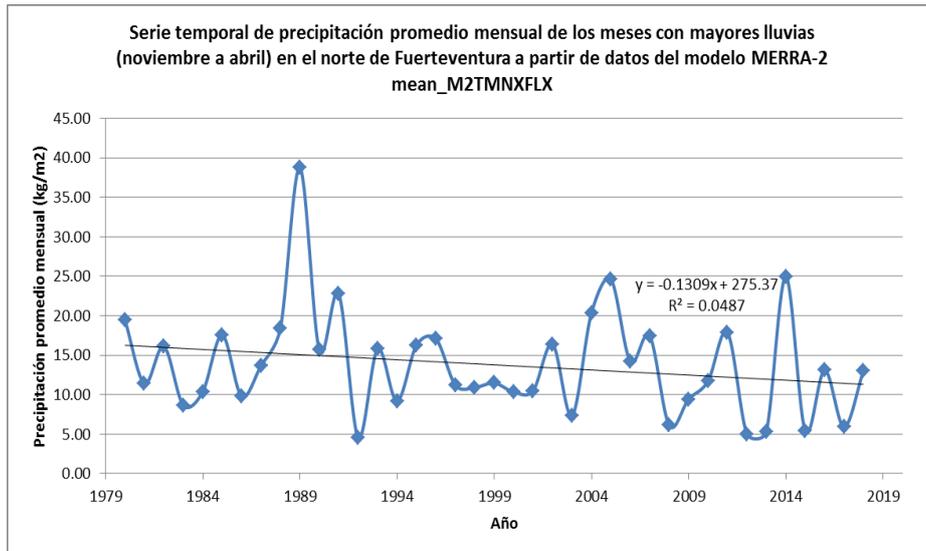


Figura 6.3.1.1 | Precipitación promedio de la estación lluviosa en el norte de Fuerteventura. Fuente: EIA-Majanicho, elitoral SLNE (2019).

Dorta et al (2018) sintetizan los conocimientos actuales en relación a las tendencias históricas de la precipitación en Canarias, en los siguientes puntos:

- ✓ La gran irregularidad de las precipitaciones impide obtener resultados concluyentes y la significación estadística resulta escasa.
- ✓ Dentro de la poca significación estadística, se observa una tendencia general a la disminución de las precipitaciones (García-Herrera et al, 2003; Máyer et al, 2015; Máyer et al, 2017), con especial relevancia en las vertientes septentrionales de Tenerife y Gran Canaria (Máyer et al, 2015).
- ✓ Los descensos más acusados en sectores muy puntuales se sitúan en torno a los 40 mm por década (Máyer et al, 2015; De Luque y Martín, 2011), llegando hasta los 60 mm para la alta montaña entre 1970 y 2010 (Hernández et al, 2012).
- ✓ Algunos sectores muestran aumentos sin significación estadística, como es el caso del Noreste de La Palma (De Luque y Martín, 2011) o El Hierro (Hernández et al, 2012).
- ✓ En general se aprecia un aumento en la intensidad de la precipitación, aunque no de manera homogénea (Tarife et al, 2012; Máyer et al, 2017).

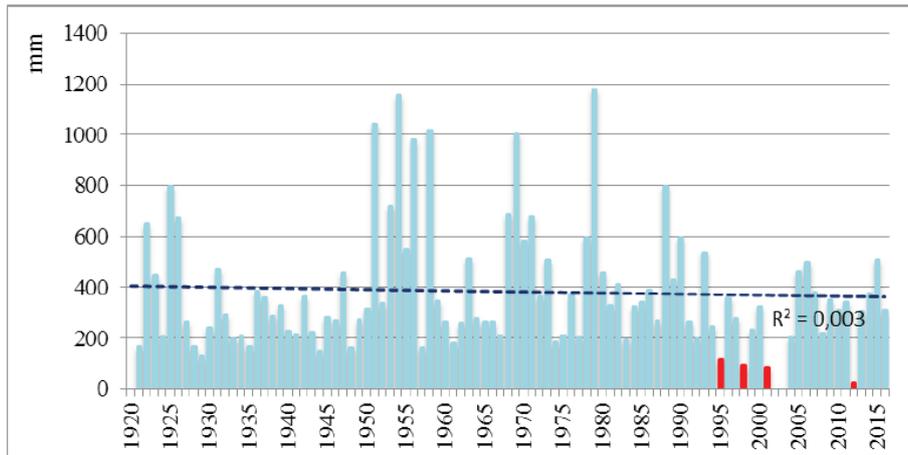


Figura 6.3.1.2 | Precipitaciones en el semestre de concentración de lluvias en Canarias (octubre-marzo) en Izaña (Tenerife) entre 1920-2016. Fuente: Dorta et al (2017) a partir de datos de AEMET.

6.3.2. PROYECCIONES

Los resultados de Expósito et al (2015) indican una reducción generalizada de las lluvias en las islas Canarias, con especial incidencia en las vertientes norte de las islas occidentales (sobre todo Tenerife, La Palma y también Gran Canaria). Como indican los modelos, tal cosa vendría acompañada de una disminución de la cobertura total de nubes. No obstante, los resultados no son concluyentes en el conjunto del archipiélago pues no son estadísticamente significativos para los diferentes escenarios y horizontes temporales.

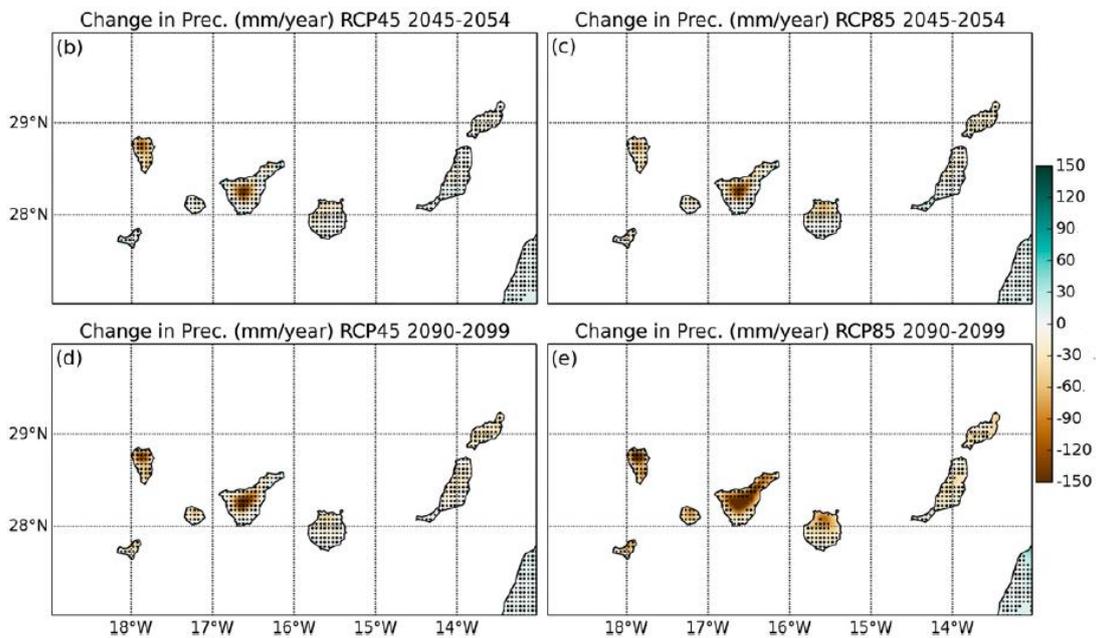


Figura 6.3.2.1 | Proyecciones de aumento-disminución de la precipitación anual media para a mediados (arriba) y finales de siglo (abajo), bajo dos escenarios de emisiones de efecto invernadero:

(a), (c) RCP4.5 y (b), (d) RCP8.5. El punteado negro indica áreas sin significancia estadística. Fuente: Expósito et al, 2015.

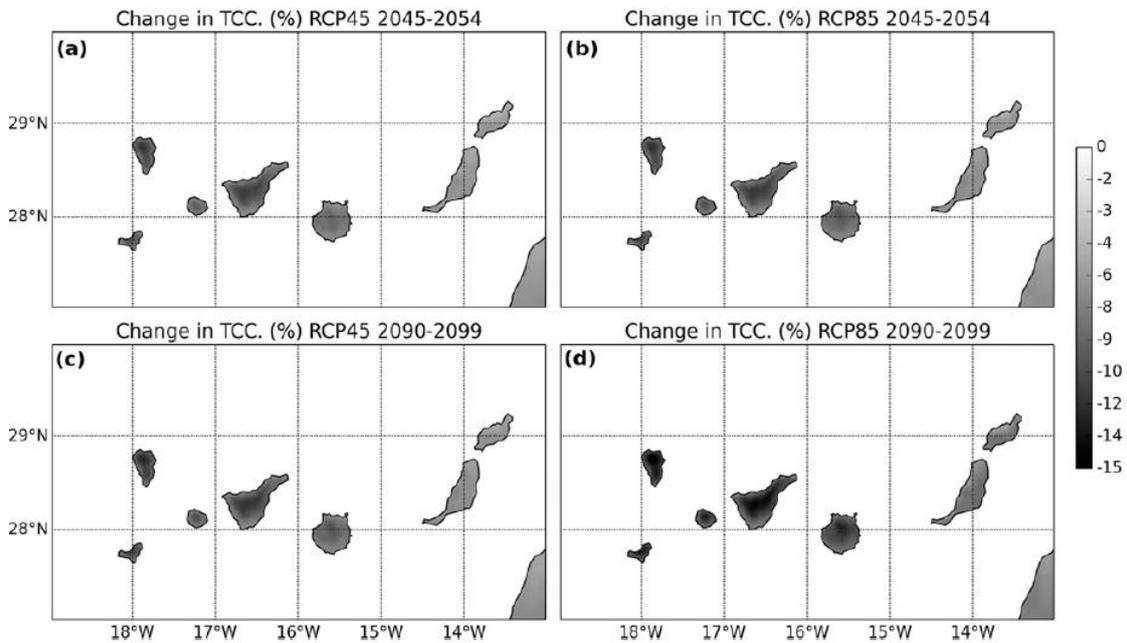


Figura 6.3.2.2 | Proyecciones de cobertura total de nubes (%) para a mediados (arriba) y finales de siglo (abajo), bajo dos escenarios de emisiones de efecto invernadero: (a), (c) RCP4.5 y (b), (d) RCP8.5. Fuente: Expósito et al, 2015.

Garijo et al (2018), de la Universidad Politécnica de Madrid (España), evaluaron la incertidumbre estadística de las proyecciones de precipitación en las regionalizaciones efectuadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) a partir de los modelos climáticos globales. Comparando las proyecciones de los modelos climáticos con los datos observados en pluviómetros entre 1961–2000, determinaron que hay una clara diferencia entre el comportamiento medio de las series y el comportamiento de los máximos anuales. Mientras que los modelos regionalizados se comportan razonablemente bien para valores medios, no ocurre así para valores máximos anuales. Todos los modelos para ambos métodos de regionalización subestiman las precipitaciones extremas (precipitaciones máximas anuales). Los valores máximos anuales de precipitación no son adecuados ya que los modelos simulan un clima con precipitaciones máximas anuales inferiores y una gran incertidumbre en la caracterización de los valores extremos.

6.4. NIVEL DEL MAR

6.4.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Según los datos altimétricos satelitales de 1992 a 2015 en Fuerteventura, recogidos en el EIA-Majanicho (elitoral SLNE, 2019), se puede observar una tendencia de aumento del nivel de mar de 0.21 ± 0.03 cm/año en los últimos 25 años.

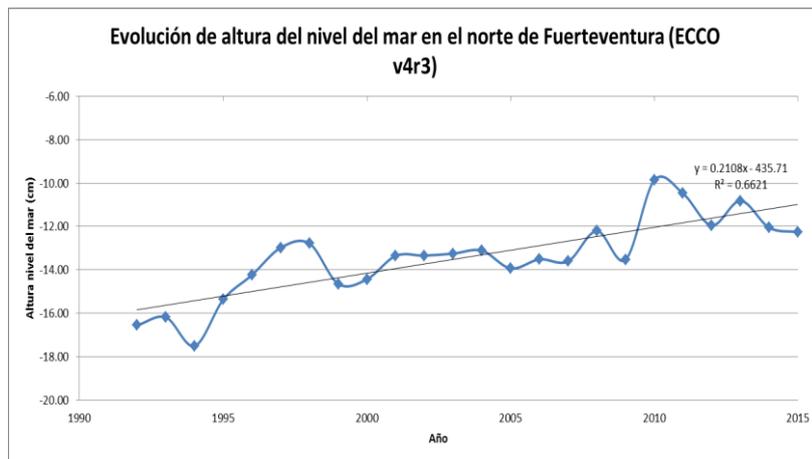


Figura 6.4.1.1 | Nivel del mar en el norte de Fuerteventura, según datos de ECCO v4r3. Fuente: EIA-Majanicho (elitoral SLNE, 2019).

Estos datos de ascenso del nivel medio del mar están relacionados con el aumento de la temperatura del mar (expansión térmica oceánica), lo cual también se observa en la serie oceanográfica del norte de Fuerteventura, donde, al margen de la estacionalidad, la temperatura media mensual entre enero de 1982 a diciembre de 2017 ha experimentado una tendencia de incremento de 0.022 ± 0.005 °C/año.

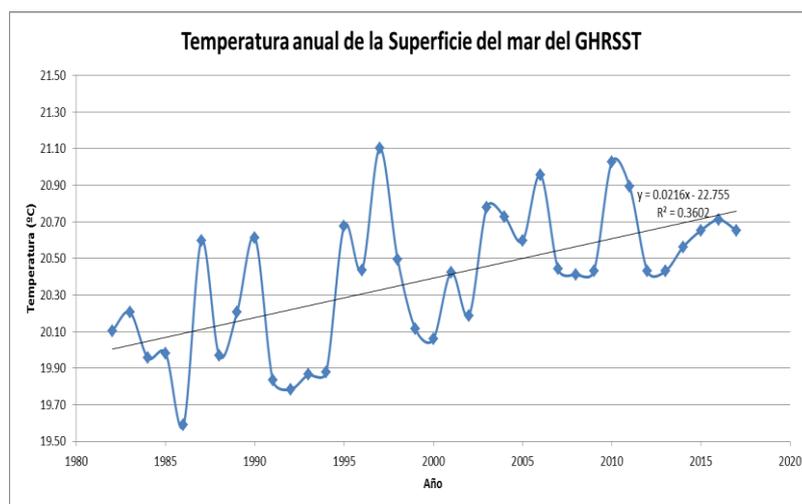


Figura 6.4.1.2 | Tendencia anual de ascenso de temperatura superficial del mar para el área norte de Fuerteventura, según datos del GHRSS. Fuente: EIA-Majanicho (elitoral SLNE, 2019).

Desde el Instituto de Oceanografía y Cambio Global de la Universidad de Las Palmas de Gran Canarias (IOCAG, ULPGC) se estima un incremento del nivel medio del mar en Canarias de 17 cm desde 1927 hasta 2018, a causa de la expansión térmica del océano y del deshielo global. Respecto a la temperatura del océano en el entorno de Canarias (IOCAG) ULPGC reporta un incremento de 1°C cada 30 años.

Esta información quedaría corroborada por los datos del mareógrafo de Fuerteventura de la red REDMAR (Puertos del Estado) en el periodo 2004-2018, donde se observa una tendencia de subida de nivel del mar de 0.297 ± 0.096 cm/año; y a su vez, ambos resultados están en línea con los obtenidos por Beckley et al (2017), del Jet Propulsion Laboratory de la NASA, donde estiman subidas del nivel del mar para la región de entre 0.2 y 0.3 cm/año.

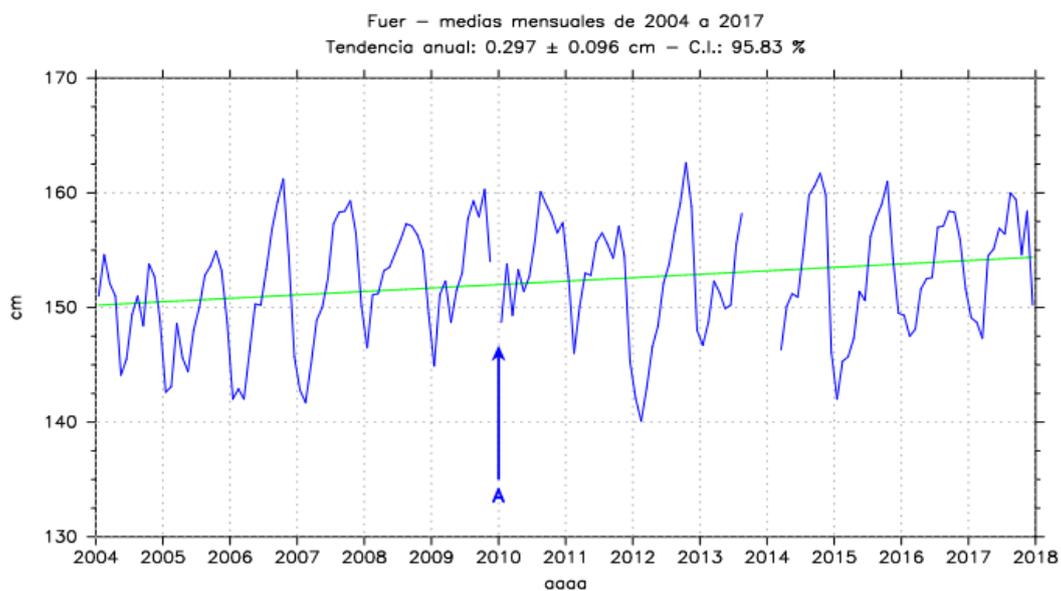


Figura 6.4.1.4 | Tendencias en las medias mensuales del nivel medio del mar entre 2004 y 2018 en el mareógrafo de Fuerteventura. Fuente: Puertos del Estado, 2019.

6.4.2. PROYECCIONES

Según los estudios realizados por el Panel internacional del cambio climático (IPCC) en el archipiélago canario se prevén subidas de en torno a 0.25 m para el 2050 y de 0.74 m para el 2100. Estas subidas en el ámbito canario concuerdan con los estudios realizados por Fraile-Jurado et al (2014), de la universidad de Sevilla, utilizando datos de satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA), donde se determinan subidas de nivel del mar de 40.6 ± 16.5 cm para los escenarios más favorables (RCP 2.6), y de 64.6 ± 16.5 cm para los más extremos (RCP 8.5), a finales del siglo XXI.

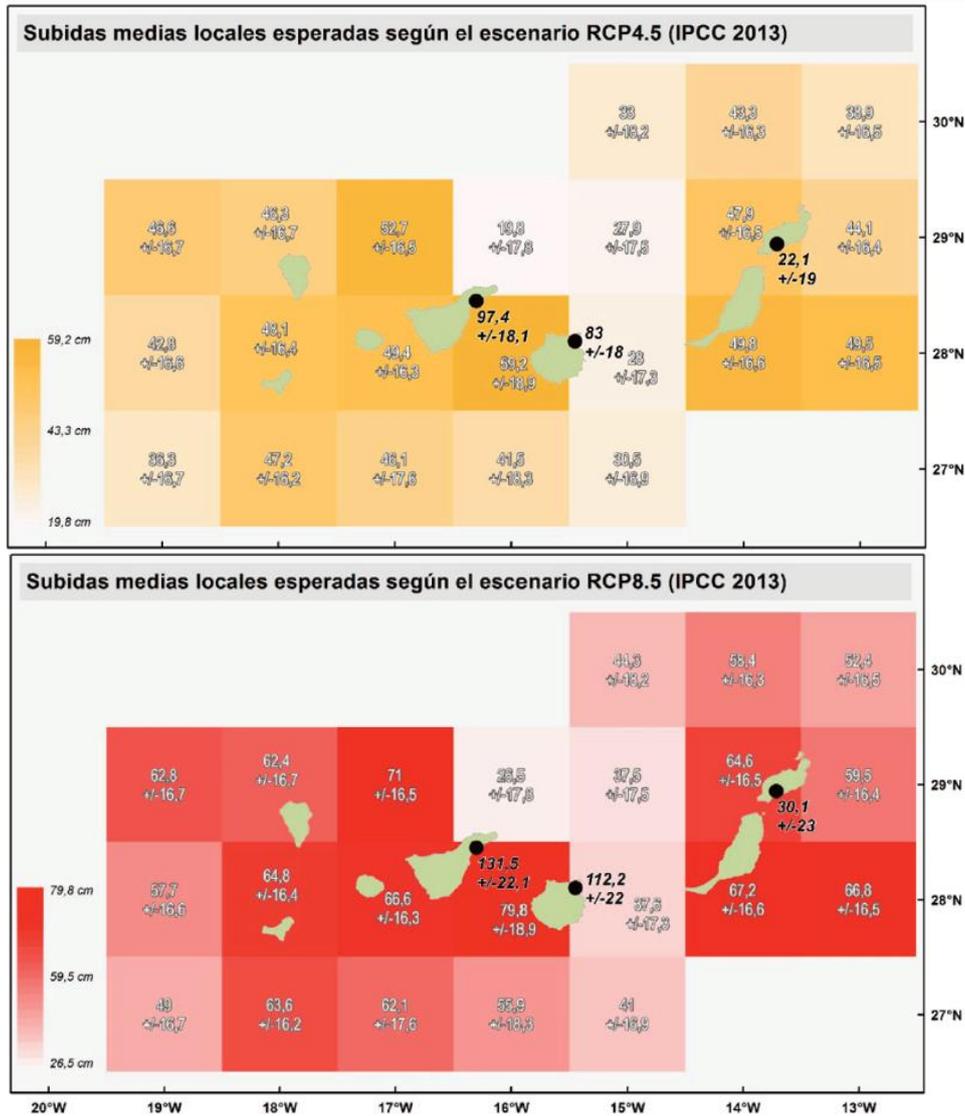


Figura 6.4.2.1 | Expectativas de subida del nivel medio del mar en Islas Canarias en el período 2081-2100 (en cm) según los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 del IPCC (2013), y error asociado a cada celdilla para un nivel de confianza del 95%. Fuente: Fraile Jurado et al, 2014.

Según las proyecciones del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH-Cantabria) a través de su visor de datos geográficos, el ascenso, para finales de siglo, del nivel del mar en Canarias, será de 0.4 a 0.5 m bajo el escenario RCP4.5, y de 0.6 a 0.7°C considerando el escenario RCP8.5. El Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH-Cantabria) determina ascensos de la temperatura del mar en Canarias, para finales de siglo, de 0.7 a 1.2°C bajo el escenario RCP4.5, y de 1.3 a 2.2°C bajo el escenario RCP8.5.

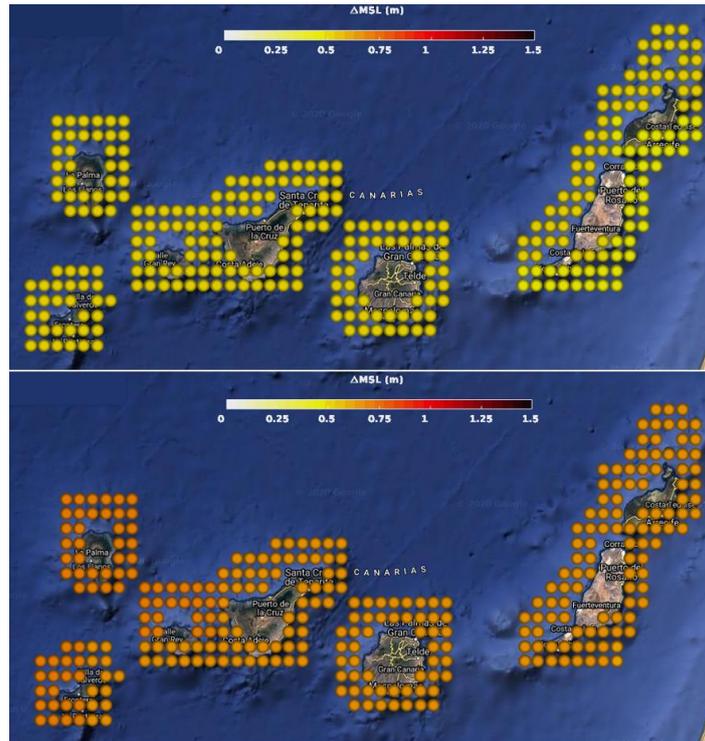


Figura 6.4.2.2 | Malla de modelización de 5 km de resolución, de subida del nivel medio del mar en Canarias a final de siglo bajo los escenarios RCP4.5 (arriba) y RCP8.5 (abajo). Fuente: IH-Cantabria.

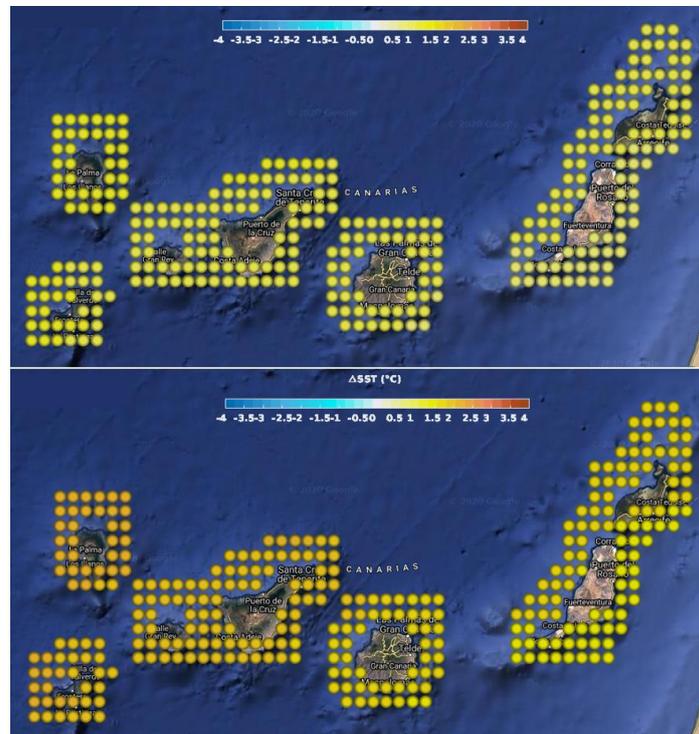


Figura 6.4.1.3 | Malla de modelización de 5 km de resolución, de cambios en la temperatura del mar en Canarias para finales de siglo bajo los escenarios RCP4.5 (arriba) y RCP8.5 (abajo). Fuente: IH-Cantabria

6.5. OLAJE

6.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Las observaciones de oleaje en Canarias entre 1958 y 2001 (Medina et al, 2004) señalan que ha habido un descenso de la altura significativa media de ola de hasta 0,004 m por año. Sin embargo, los parámetros extremales (altura de ola significativa solo superada 12 h al año, número de temporales al año. Y altura de ola significativa de 50 años retorno), habrían aumentado en este mismo periodo en las costas orientadas norte de las islas y disminuido, en la misma proporción, en las costas orientadas a sur.

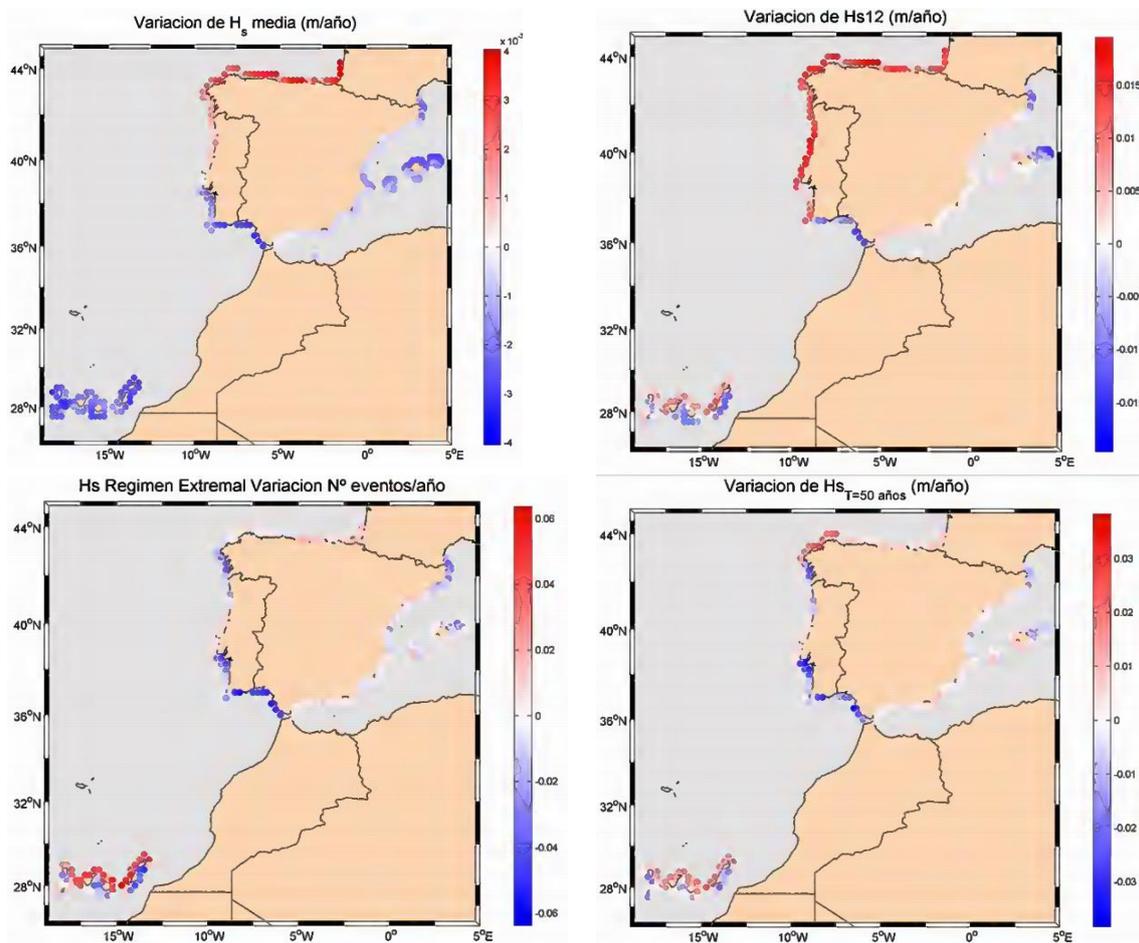


Figura 6.4.2.1 | Observaciones de oleaje en Canarias en el periodo 1958-2001. Variación de la altura de ola significativa media. Variación de la altura de ola significativa solo superada 12 h al año. Variación del número de temporales al año. Variación de la altura de ola significativa de 50 años retorno. Fuente: Medina et al, 2004.

6.2.2. PROYECCIONES

Según las proyecciones del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH-Cantabria) a través de su visor de datos geográficos, la altura significativa del oleaje (H_s) en Canarias, para finales de siglo, disminuirá proporcionalmente en las costas expuestas orientadas al norte y aumentará en las costas abrigadas orientadas al sur. Un comportamiento similar se espera con relación al periodo pico del oleaje (T_p); y respecto a la dirección media de aproximación del oleaje, se espera que pueda variar hasta 4° en la costa norte de las islas y más de 10° en algunos puntos de las costas orientadas al sur.

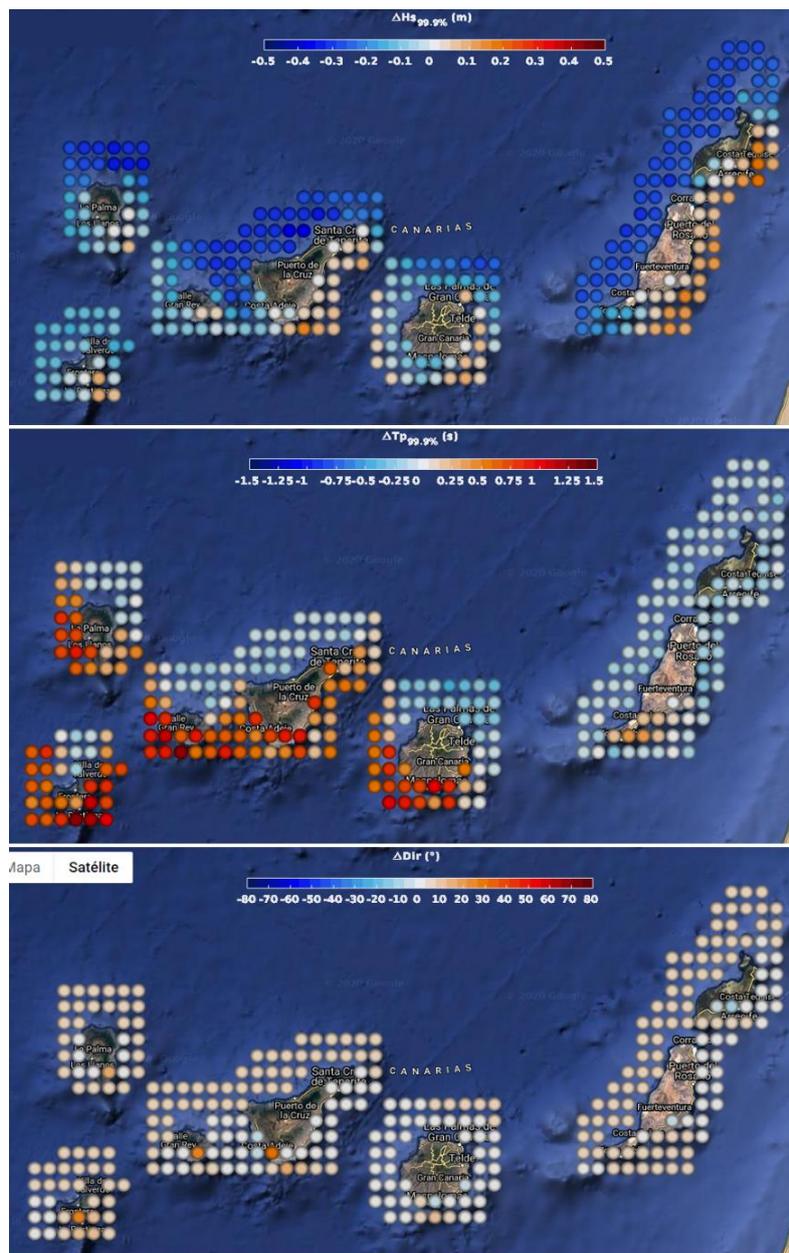


Figura 6.2.2.1 | Malla de modelización de 5 km de resolución, de los cambios en altura significativa (H_s), periodo pico (T_p) y dirección del oleaje (Dir), a finales de siglo en Canarias, bajo el escenario

RCP 8.5. Bajo otros escenarios, cabe esperar una intensidad de cambio menor en el mismo sentido. Fuente: IH-Cantabria.

6.6. IMPACTOS PRINCIPALES

La alta concentración de actividades turísticas y de población en la franja costera, hace que los cambios experimentados en el clima marítimo de Canarias, sobre todo la subida de nivel del mar y el efecto del oleaje de temporal en la erosión e inundación de la costa, sean quizás la principal consecuencia del cambio climático en el archipiélago.

6.6.1. EROSION

Dorta et al (2007, 2017), de la universidad de La Laguna (Tenerife, islas Canarias), señala que las características de las islas, sobre todo de las más occidentales, favorecen los movimientos ascendentes y convectivos de aire, y la fuerte escorrentía actúa sobre suelos carentes de vegetación aumentando considerablemente la erosión de suelo cultivable y favoreciendo la aparición de movimientos en masa. El aumento de la concentración en las precipitaciones estivales puede ser considerados como indicios de una incipiente *tropicalización* de las condiciones climáticas de la región, dando lugar a la llegada de ciclones o tormentas tropicales en el área.

6.6.2. INUNDACIONES

Se han registrado numerosos episodios de precipitación torrencial muy recientes, que han superado los máximos establecidos para una gran parte de las series históricas (Dorta, 2007; Díez et al, 2015). Por ejemplo, en el caso de Santa Cruz de Tenerife se observa que en los 79 años de la serie se registra una concentración de episodios torrenciales (más de 100 mm/día) en el último cuarto (1996-2016), con cuatro episodios, frente a sólo tres entre 1938 y 1995. Un buen ejemplo de ello fue el invierno 2009-2010, cuando se sucedieron episodios de fuerte inestabilidad no sólo en Canarias sino también en Madeira (Fragoso et al, 2012) con graves daños y víctimas mortales (más de 40 en esta última). Entre todos los eventos extremos, los que presentan mayor inquietud desde una perspectiva social, y poseen un mayor interés científico, son los fenómenos inestables de origen tropical. Los episodios recientes de precipitaciones estivales y la llegada de llegada de tormentas y ciclones tropicales o huracanes, son signos de una incipiente tropicalización de las condiciones climáticas de la región.

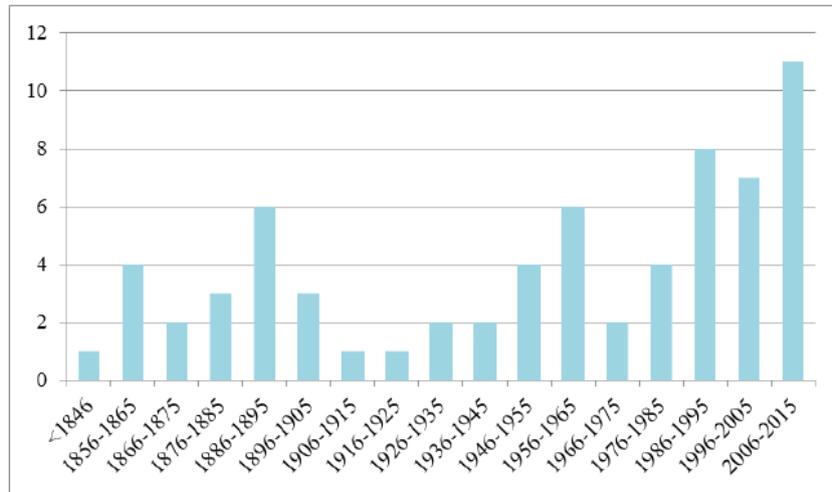


Figura 6.6.2.1 | Evolución del número de tormentas y ciclones tropicales en el Atlántico Norte Su-oriental (Azores-Canarias-Golfo de Cádiz) (1845-2015). Fuente: Dorta et al (2017) a partir de datos de NOAA.

En las costas, a la subida de nivel del mar hay añadir el efecto de las mareas y del oleaje extremo que es previsible que sea más frecuente por efecto del cambio climático. De este modo, el nivel medio del mar podrá aumentar en torno a 2,54 m en temporales de oleaje extremo para finales de siglo XXI. Esto podrá tener un efecto muy significativo en la inundación de zonas bajas del archipiélago. Como ejemplo de ello, la costa norte de Fuerteventura, constituida por una llanura lávica de baja altitud, verá retranqueada su línea de costa hasta 1 km de distancia tierra adentro en algunos puntos.

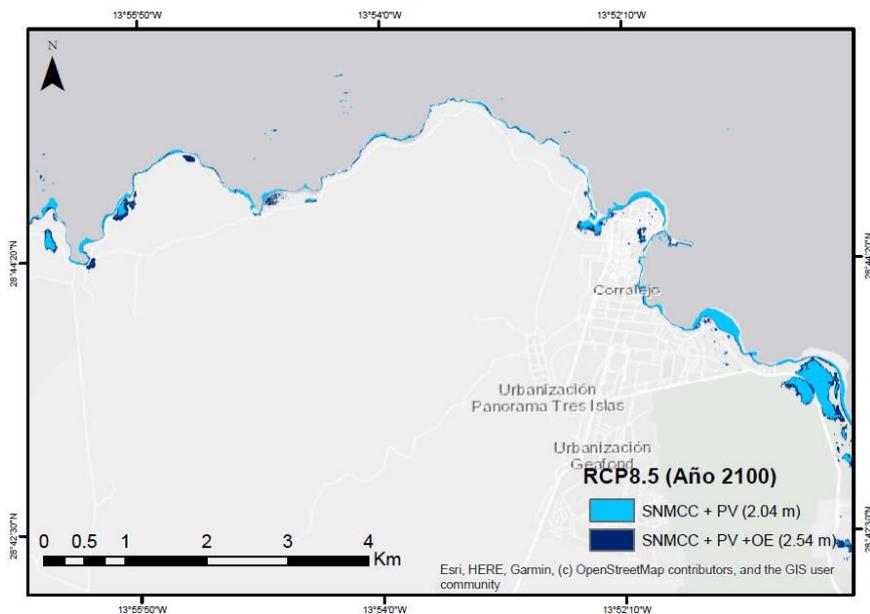


Figura 6.6.2.2 | Representación de zonas potencialmente inundables en el año 2100 para el escenario RCP8.5 en la costa noreste de Fuerteventura. Fuente: EIA-Majanicho (elitoral SLNE, 2019).

6.6.3. OLAS DE CALOR

El número de olas de calor en Canarias es notablemente mayor en los últimos años, con 24 episodios entre 1996 y 2015 y sólo 13 entre 1976 y 1995 (AEMET, 2017). En relación con ello, el riesgo de incendio forestal, que está directamente relacionado con las advecciones saharianas responsables de las olas de calor (Dorta, 2001), aumenta. De hecho, los mayores incendios forestales en la historia de las Islas Canarias se han producido en el siglo XXI.

Según Cardós et al (2007), del Centro Meteorológico Territorial en Canarias Occidental, las olas de calor son cada vez más extensas y frecuentes, habiéndose duplicado casi los episodios: 24 se contabilizaron entre 1996 y 2015 y solo 13 entre 1976 y 1995.

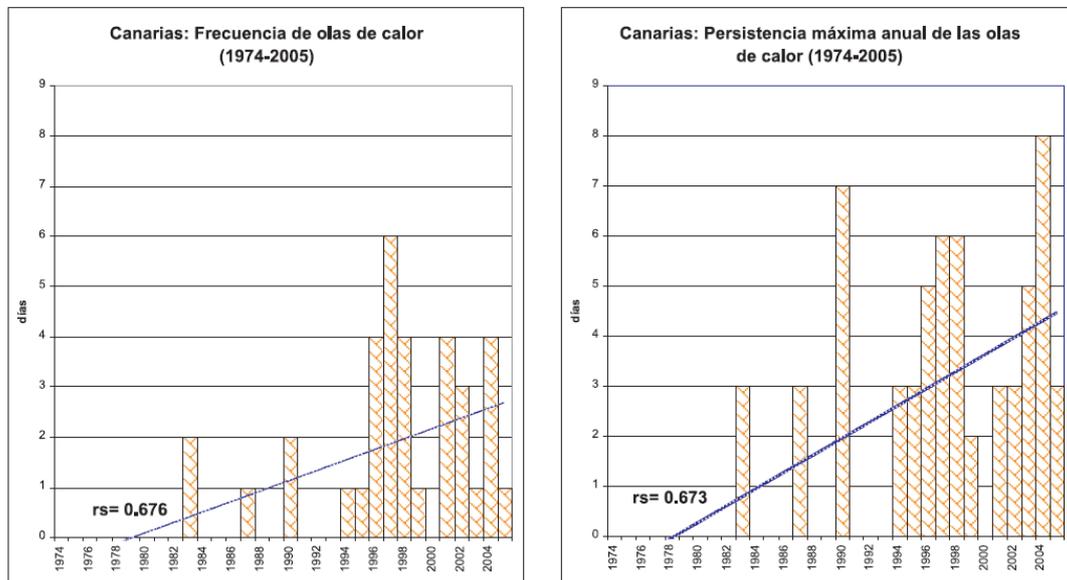


Figura 6.6.3.1 | Test de tendencia de Spearman para olas de calor en Canarias. Fuente: Cardós et al, 2007.

El aumento de las temperaturas, así como la frecuencia de olas de calor podrá afectar de manera importante a la salud, produciendo el aumento de muertes directas a causa de este fenómeno, así como producir aumentos puntuales de enfermedades transmitidas por insectos. El aumento de los picos de temperatura, además, provocará una incidencia cada vez mayor de los incendios forestales, con el consiguiente coste socio económico, para la salud y para las masas forestales de Canarias y su biodiversidad asociada.

6.6.4. SEQUIAS Y DÉFICIT HÍDRICO

Los resultados de Expósito et al (2015) prevén una reducción generalizada de la humedad del suelo, de hasta un 8%, que sería especialmente notable en las vertientes norte de las islas de mayor relieve, a consecuencia de la disminución de las precipitaciones medias y el aumento de la insolación y la temperatura. No obstante, la incertidumbre es alta, sobre todo en lo que respecta a las precipitaciones.

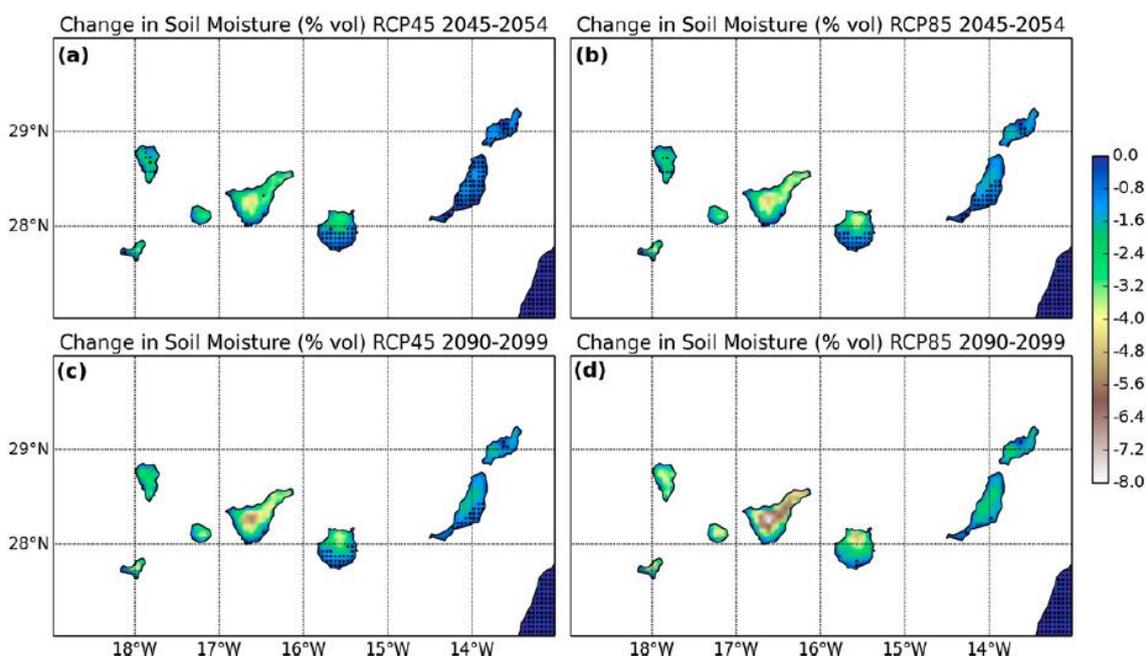


Figura 6.6.4.1 | Proyecciones de humedad media del suelo (% en volumen) para a mediados (arriba) y finales de siglo (abajo) bajo dos escenarios de emisiones de efecto invernadero: (a), (c) RCP4.5 y (b), (d) RCP8.5. El punteado negro indica áreas sin significancia estadística. Fuente: Expósito et al, 2015.

La sensibilidad de los recursos hídricos es particularmente alta en las zonas con temperaturas medias-altas y con precipitaciones bajas, como Canarias (Moreno, 2006). El aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación causará una reducción de las aportaciones hídricas y un incremento de la demanda en los sistemas de regadío. Las zonas más críticas son las semi-áridas, en las que las aportaciones pueden reducirse hasta un 50% sobre el potencial actual. Según las simulaciones:

- ✓ Para 2030, con aumentos de temperatura de 1°C y disminuciones medias de precipitación de un 5%, se producirán disminuciones medias del régimen hídrico natural de entre un 5 y un 14%.
- ✓ Para 2060, con aumentos de temperatura de 2.5°C y disminuciones de precipitación de un 8%, se produciría una reducción media de los recursos hídricos de un 17%. Estas cifras pueden superar el 22% para los escenarios previstos para final de siglo.

Estos cambios implicarán necesariamente la remodelación y redefinición de las políticas científico-tecnológicas, hidráulicas, energéticas, agrícolas, medioambientales y de planificación territorial.

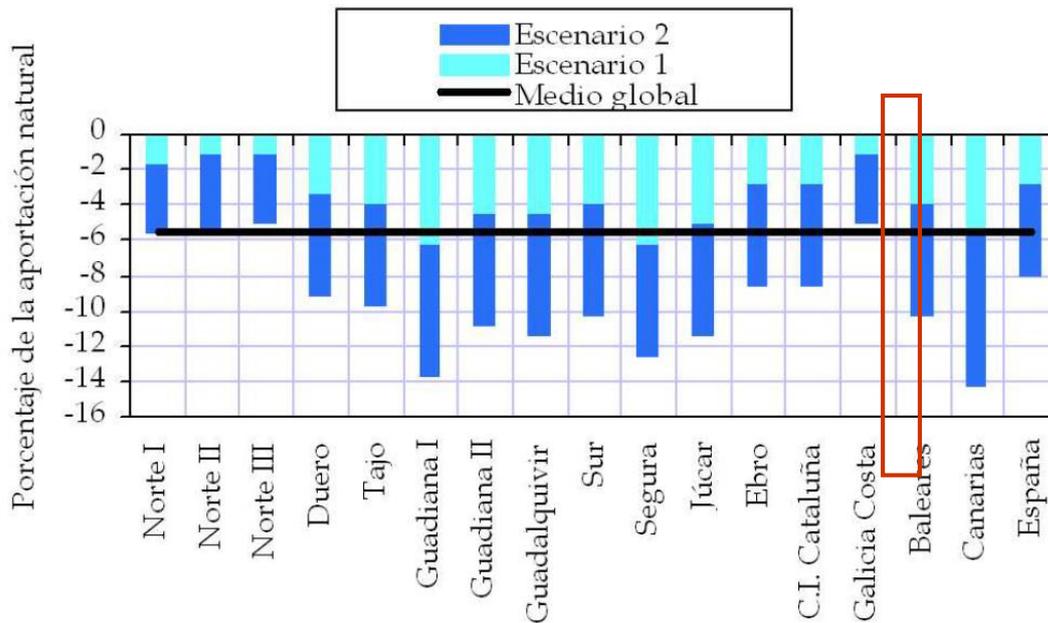


Figura 6.6.4.2 | Porcentajes de disminución de la aportación hídrica natural, para dos escenarios climáticos, en el largo plazo de la planificación hidrológica. Véase que el peor escenario hidrológico en el contexto de España corresponde a las islas Canarias. Fuente: Moreno, 2006.

6.7. PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

Los cambios climáticos que se están produciendo en la actualidad son la antesala de un proceso que se desarrollará a medio y largo plazo, y cuyos impactos en sectores de actividad como el turismo pueden suponer un gran condicionante para la economía de las islas Canarias. Por ello, Canarias es un contexto territorial que presenta una gran vulnerabilidad y exposición a los efectos y riesgos derivados del cambio climático y esto requiere de acciones firmes de adaptación.

Como describen Lope-Diez et al (2016), de la Universidad de La Laguna y GEODOS S.L. (Tenerife, islas Canarias), en España, la creación en 1992 de la Comisión Nacional del Clima generó el primer órgano nacional destinado al estudio, asesoramiento e implementación de medidas frente al cambio climático. Esta Comisión fue sustituida en 1998 por el actual Consejo Nacional del Clima, cuya función es elaborar propuestas y recomendaciones sobre políticas relativas al cambio climático, incluidas las de adaptación. En 2001, se creó la Oficina Española del cambio climático (OECC), siendo el principal organismo destinado al desarrollo de las acciones vinculadas al cambio climático. Es a partir de su creación cuando se efectuaron las primeras acciones sobre adaptación en España, como la elaboración en 2006 del Plan Nacional de Adaptación al cambio

climático (PNACC). En este periodo se aprobaron las normas nacionales que empiezan a integrar aspectos de mitigación y adaptación al calentamiento global, como es el caso de la Ley 21/2013, de evaluación ambiental, o más recientemente, el Real Decreto Legislativo 7/2015 de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. Otros organismos de escala nacional vinculados al desarrollo de acciones relacionadas con el cambio climático son la Comisión de Coordinación de Políticas de cambio climático o la Comisión Nacional de Energía. Derivados de los esfuerzos institucionales, se desarrolló, en 2007, la “Estrategia Española de cambio climático y Energía Limpia” y la “Estrategia local de cambio climático”.

En las islas Canarias, el eje articulador es la “Estrategia Canaria de Lucha contra el cambio climático” (ECLCC) desarrollada por el Gobierno de Canarias en 2009. Entre las medidas incluidas en la ECLCC está la creación de la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y cambio climático (ACDSCC), la elaboración de un plan de mitigación y el desarrollo de un plan de adaptación. El Plan de Mitigación preveía la reducción de GEI para los años 2010 y 2015, sobre todo en determinados sectores estratégicos, y contemplaba la implantación de instrumentos de seguimiento a través de inventarios de emisiones de GEI. En 2008 se elaboró el primer y único inventario de GEI, resultado de un trabajo de análisis dentro del marco del “Proyecto Clima Impacto”. En 2009 se constituyó la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y cambio climático (ACDSCC), la cual comenzó los trabajos relativos a la implementación del “Plan de Adaptación al cambio climático”; pero el desarrollo de la ECLCC quedó paralizado en 2011 y la ACDSCC desapareció entre 2011 y 2015 en el marco de las medidas adoptadas por el Gobierno de Canarias para reordenar y racionalizar el sector público autonómico y cumplir con los objetivos de estabilidad presupuestaria. En los últimos años se han implementado iniciativas vinculadas con el cambio climático y la adaptación, tales como la adhesión de 78 de los 88 municipios de Canarias a la campaña “Desarrollando Ciudades Resilientes” de UNISDR o la inclusión de instituciones como el Cabildo de Tenerife y varios municipios del archipiélago en el denominado “Pacto de los alcaldes para el clima y la energía.”

Algunas de las necesidades de adaptación resaltadas por Moreno (2006) son:

- ✓ La conveniencia de diseñar, implantar o mejorar las redes de control de usos del agua, superficial y subterránea, y la red de medidas de caudales en fuentes y surgencias.
- ✓ Avanzar en las investigaciones tendentes a mejorar las previsiones de precipitación y temperatura, así como de su distribución espacial y temporal.
- ✓ Mas investigación para mejorar los métodos de generación de series de datos climáticos basadas en escenarios;
- ✓ Disponer de métodos mejores y más fiables para el cálculo de evaporaciones y evapotranspiraciones, así como para conocer el papel del agua en el suelo, la interceptación y reserva de agua utilizable por las plantas y la recarga de acuíferos con mayor fiabilidad.
- ✓ Desarrollar modelos para la automatización del cálculo de aportaciones y de gestión en cuencas.
- ✓ Desarrollar y mejorar los métodos de previsión sobre las consecuencias del cambio climático.
- ✓ Implementar procesos participativos que integren a todos los agentes involucrados.

Un ejemplo de proceso participativo fue el llevado a cabo en la isla de Tenerife en 2016 (Hernández et al, 2017), a cargo de la Joint Research Centre (JRC, Comisión Europea). En el informe resultante, se recogieron las siguientes conclusiones:

- ✓ El problema de adaptación al cambio climático es un problema de resiliencia: no sólo cómo adaptar las islas al cambio climático, sino cómo hacerlas más resistentes y capaces de responder ante *shocks* externos, sean estos climáticos o de otra índole.
- ✓ El creciente envejecimiento de la población y la desigualdad socioeconómica incrementan la vulnerabilidad de las islas frente al cambio climático.
- ✓ Sería necesario implantar políticas disuasorias del consumo de energía (impuestos, planes de movilidad sostenible).
- ✓ Convendría implantar ecotasas al turismo y establecer capacidades de carga insulares en la llegada de turistas a las islas.
- ✓ Ampliar los espacios ajardinados en las ciudades para paliar los efectos del aumento de la temperatura.
- ✓ Reabrir la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y cambio climático para que sea el agente vertebrador de los objetivos de sostenibilidad entre todas las administraciones públicas y privadas.
- ✓ Contra las futuras olas de calor: potenciar la vivienda bioclimática, desarrollar sistemas de aviso a la población y programas de prevención, regular el trabajo al aire libre y la actividad física bajo condiciones extremas de calor, y fomentar las infraestructuras verdes.
- ✓ Contra las futuras olas de calor: potenciar la vivienda bioclimática, desarrollar sistemas de aviso a la población y programas de prevención, regular el trabajo al aire libre y la actividad física bajo condiciones extremas de calor, y fomentar las infraestructuras verdes.
- ✓ Contra las crecientes calimas: desarrollar sistemas de aviso a la población, preparar los sistemas sanitarios de Urgencias y Atención Primaria ante la llegada de estos eventos climáticos y análisis del material particulado para evitar la propagación de enfermedad
- ✓ Contra la contaminación del aire: fomentar el uso el transporte público, ampliar la red peatonal y ciclista e Instalar paneles informativos sobre la calidad del aire en zonas afectadas.



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

7

MADEIRA



7.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES

Las condiciones meteorológicas predominantes en la región del archipiélago de Madeira, que se encuentra a unos 450 km al norte de islas Canarias, están determinadas principalmente, al igual que estas últimas, por el anticiclón subtropical de las Azores. Las condiciones son relativamente semejantes a las que dominan en las islas Canarias, siendo Madeira relativamente más húmeda y fría. Los valores medios anuales de la temperatura del aire en la isla de Madeira son mayores en la costa sur que en la costa norte y disminuyen en el interior de la isla en función de la altitud. Así, la temperatura media anual es de 18,8 °C en Funchal (58 m), 18,7 °C en Porto Santo o de 9,7 °C en Arieiro (1,610 m de altitud). Los valores más altos de temperatura se alcanzan entre julio y septiembre. Los valores medios anuales de las precipitaciones en la isla de Madeira son mayores en la costa norte que en la costa sur, aumentando con la altitud, de 553 mm en Funchal (costa sur) a 3,084 mm en Arieiro (interior montañoso), con 1,182 mm en Ponta Delgada (costa norte) o 1,527 mm en Porto Moniz (costa norte). Los valores medios anuales de las precipitaciones varían mucho durante el año, donde los meses de octubre a marzo son los más lluviosos.

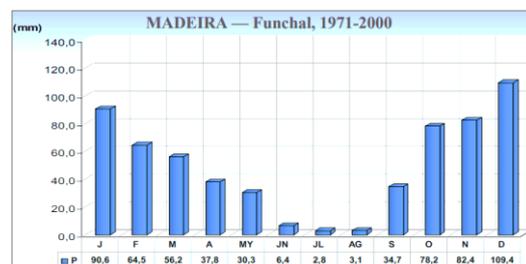
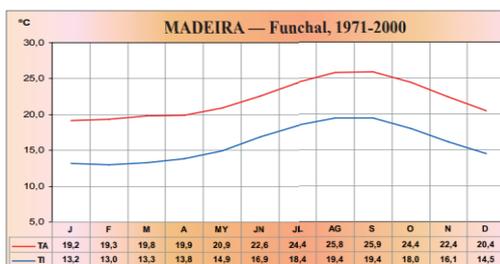
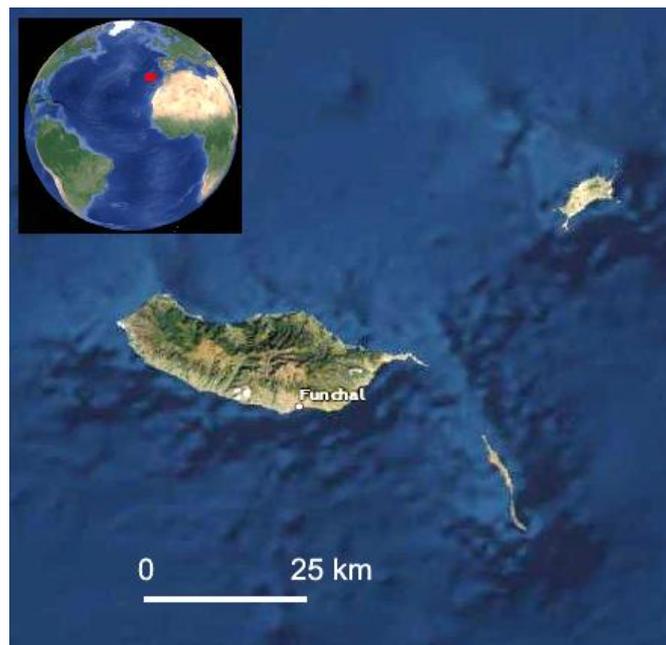


Figura 7.1.1 | Imagen de satélite del archipiélago de Madeira y climograma de Funchal (costa sur de la isla de Madeira). Fuente: Atlas climático de Canarias, Madeira y Azores (AEMET, 2012).

7.2. TEMPERATURA

7.2.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Los datos de la estación de Funchal (isla de Madeira), analizados por Santos et al (2004), demuestran que las temperaturas mínimas y máximas observadas han estado aumentando constantemente durante el último cuarto de siglo, en concordancia con el aumento de las temperaturas a nivel global (Karl et al, 2000). Los ajustes lineales por tramos de las series temporales, indican tendencias de $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década en las temperaturas máximas y de $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década en las temperaturas mínimas.

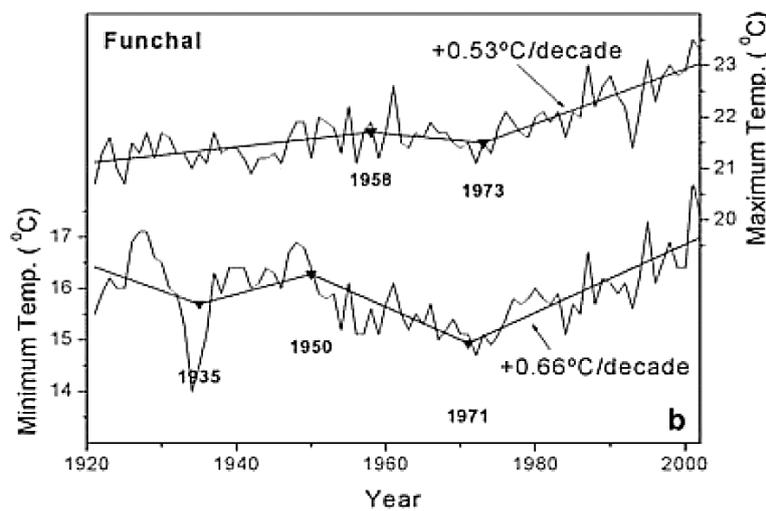


Figura 7.2.1.1 | Evolución histórica (1920-2002) de las temperaturas mínimas (curva inferior) y máximas (curva superior) en Funchal (Madeira). Fuente: Santos et al (2004).

Crooper (2013), de la Universidad de Sheffield (Reino Unido), destaca que, de los diversos archivos meteorológicos mundiales, ninguno abarca el período completo de observación en Madeira (desde 1865) sin interrupción. Las Temperaturas medias han subido constantemente a partir de 1975, hasta la actualidad.

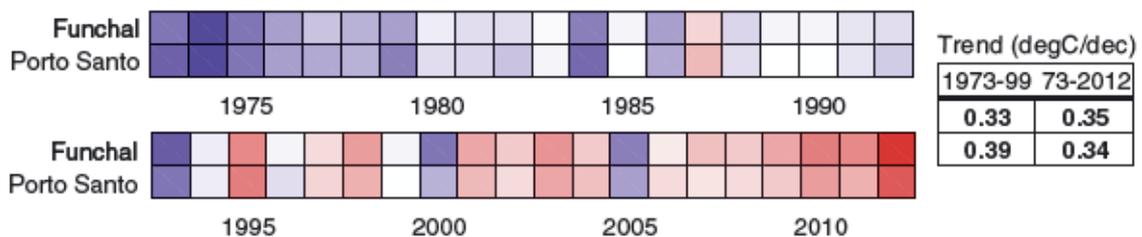


Figura 7.2.1.2 | Anomalía de temperatura anual (en relación con el período base 1981–2010) para las estaciones de Funchal y Porto Santa. La tabla muestra las tendencias lineales de temperatura, en grados por década, entre 1973-1999 y 1973-2012. Fuente: Crooper, 2013.

7.2.2. PROYECCIONES

El análisis de escenarios e impactos del cambio climático en pequeñas islas son bastante difíciles, ya que los modelos de circulación global (GCM), que son la herramienta principal para producción de escenarios climáticos, no puede simular la topografía a pequeña escala y las características costeras de esas islas.

Santos et al (2004), de las universidades de Lisboa, Azores y Beira Interior, y del Instituto de Meteorología (Portugal), utilizaron un modelo simple CIELO para escalar los escenarios climáticos para el siglo XXI en Madeira, obtenidos del GCM HadCM3-Hadley Centre (Gordon et al, 2000). El modelo HadCM3 se ejecutó utilizando los escenarios SRES de emisiones A2 y B2. CIELO es un modelo relativamente simple, basado en las transformaciones experimentadas por una masa de aire que asciende una montaña, simulando la evolución de las propiedades físicas de una parcela aérea desde el nivel del mar. Los escenarios se construyeron para el período 2070-2099, en comparación con el clima del período de control 1961- 1990.

Las anomalías térmicas halladas entre los dos períodos de 30 años fueron ligeramente más altas en Madeira (menos de 3 °C) que en el Azores (menos de 2.3 °C). Las anomalías de temperatura máxima en verano para el escenario A2 van de 2.4-3 °C y en el escenario B2 se observó un aumento de temperatura máxima de 1.6 y 2.2 °C. Las anomalías más grandes se encuentran cerca de la costa sur de la isla, la región afectada por el efecto Föhn del viento del norte. Las temperaturas mínimas proyectadas para el invierno sufren incrementos del orden de 2.6 a 2.9 °C en el escenario A2 y de 1.5- 1.8 °C en B2, con las mayores anomalías ocurriendo en las regiones más altas.

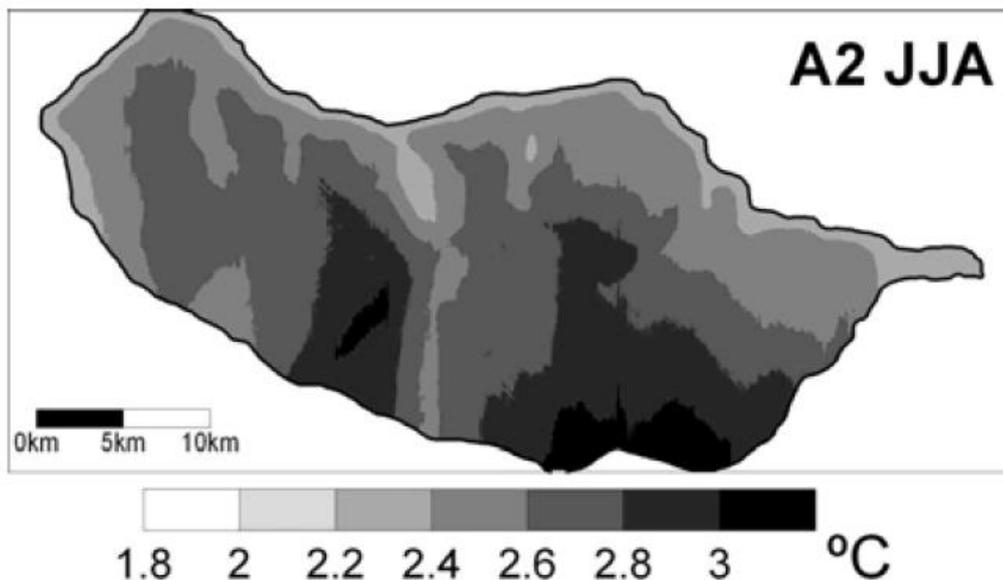


Figura 7.2.2.1 | Anomalías de temperatura media anual en Madeira esperadas entre 2070-2099 (escenario A2) respecto al período de control 1961-1990. Fuente: Santos et al (2004).

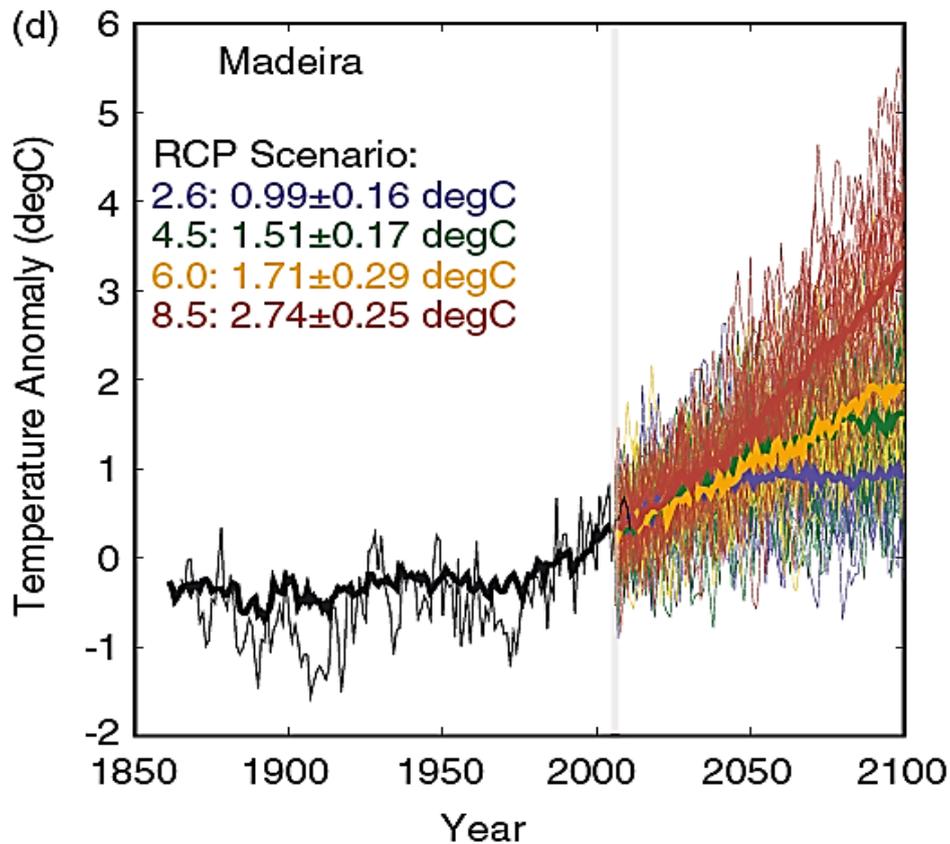


Figura 7.2.2.2 | Anomalía de temperatura media anual relativa a 1976–2005 para Madeira (línea negra fina) y conjunto histórico de modelos múltiples CMIP5 (1861–2005, línea negra gruesa) y predicciones futuras (2006–2100) para Madeira. Las líneas de colores finos representan ejecuciones de modelos individuales para los respectivos escenarios, mientras que las líneas de colores gruesas son la media del modelo. Los cambios en el escenario RCP son la diferencia en la media (con intervalos de confianza del 95%) entre 2071–2100 y 1976–2005. Fuente: Cropper et al, 2013.

7.3. PRECIPITACION

7.3.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

El mapa de precipitación de Madeira presenta una marcada asimetría norte (más húmedo)-sur (más seco), debido al predominio de vientos del norte especialmente entre primavera y otoño (Santos et al, 2004).

Cropper y Hanna (2013) presentaron registros de precipitación a largo plazo en Madeira, descubriendo que no había cambios significativos a largo plazo o recientes.

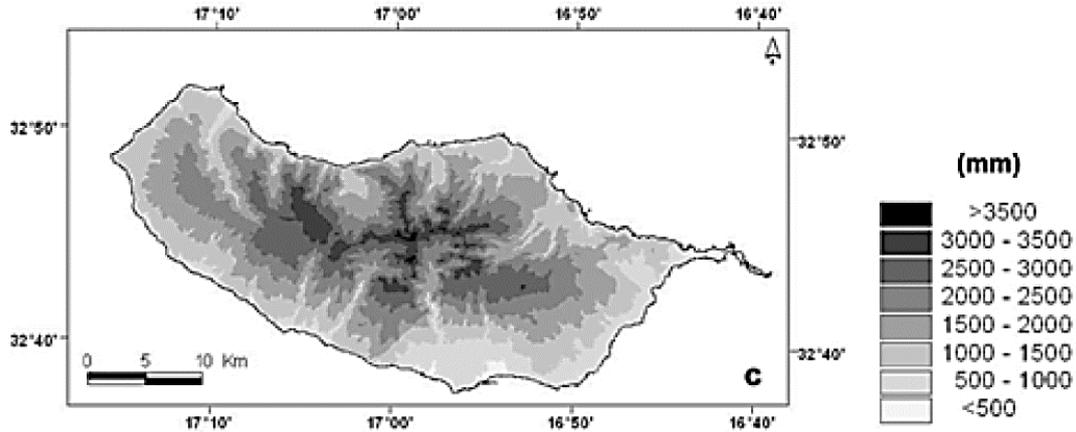


Figura 7.3.1.1 | Precipitación media anual de la isla de Madeira en el periodo 1961-1990. Fuente: Santos et al (2004) a partir de datos del Instituto Portugués de Meteorología.

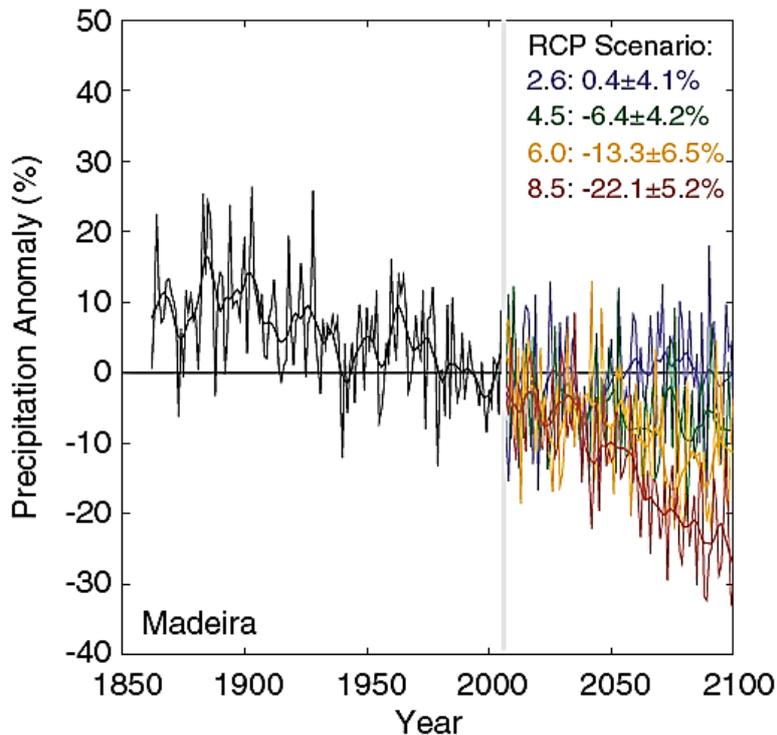


Figura 7.3.1.2 | Multimodelo CMIP5 de precipitación histórica media (línea negra) para Madeira, y predicción de anomalías de invierno y verano (líneas de color), expresada como cambio porcentual relativo al periodo de referencia 1976-2005. Las líneas gruesas y suaves indican suavizados LOESS de 11 años. Los cambios en el escenario RCP son la diferencia de la media (con un 95% de confianza) entre 2071-2100 y 1976-2005. Fuente: Crooper et al, 2013.

7.3.2. PROYECCIONES

Los resultados del modelo CIELO desarrollado por Santos et al (2004) en la isla de Madeira (con calibración y validación con datos de 14 estaciones entre 1980 y 1994), muestran una intensidad de cambio, mayor en la precipitación de Madeira que en la de Azores, con una precipitación anual que disminuirá hasta un 35% en el período 2070-2099 en comparación con el período de control 1961-1990. En este escenario, los inviernos de Madeira se volverán particularmente más secos.

Según las anomalías de precipitación en invierno y verano obtenidas del modelo, la precipitación de invierno disminuirá en los escenarios futuros (15%-35% en A2 y 20%-40% en B2) mientras que en verano la precipitación sufrirá un aumento particularmente acusado en el escenario A2 (20%-100%). En invierno, las mayores disminuciones se producirán en la parte norte de la isla. Durante esta temporada, la dirección predominante del viento será de cuadrante SW y las mayores disminuciones relativas ocurrirán en medianías. Por otro lado, en verano los mayores incrementos se producirán en el lado norte, dominando el viento del cuadrante norte durante esta temporada. En las temporadas de primavera y otoño en Madeira las mayores disminuciones de precipitación ocurrirán en la parte sur de la isla. El mismo patrón de anomalías de precipitación se dará a escala anual, variando entre 20% y 35%.

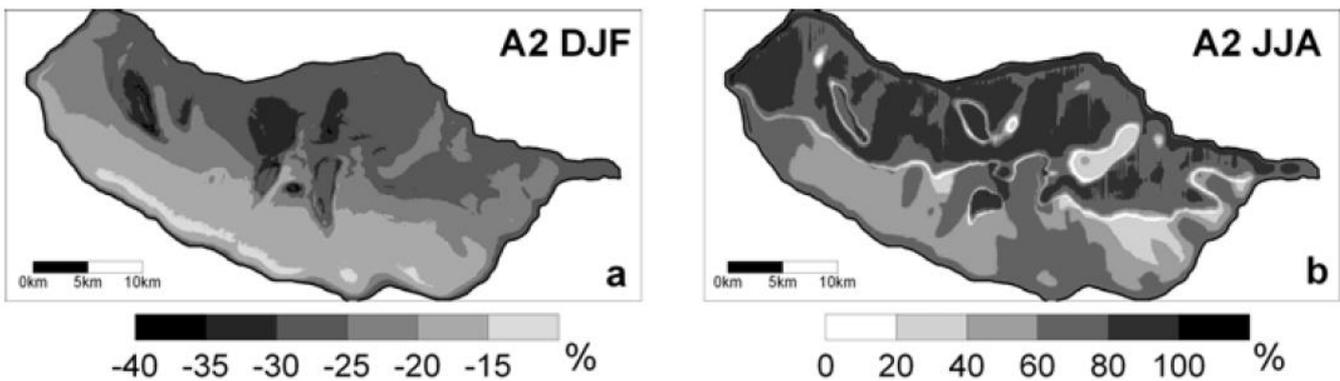


Figura 7.3.2.1 | Anomalías de precipitación en Madeira dadas por CIELO, derivadas de datos HadCM3, para un escenario A2: (a) invierno; (b) Verano. Fuente: Santos et al (2004).

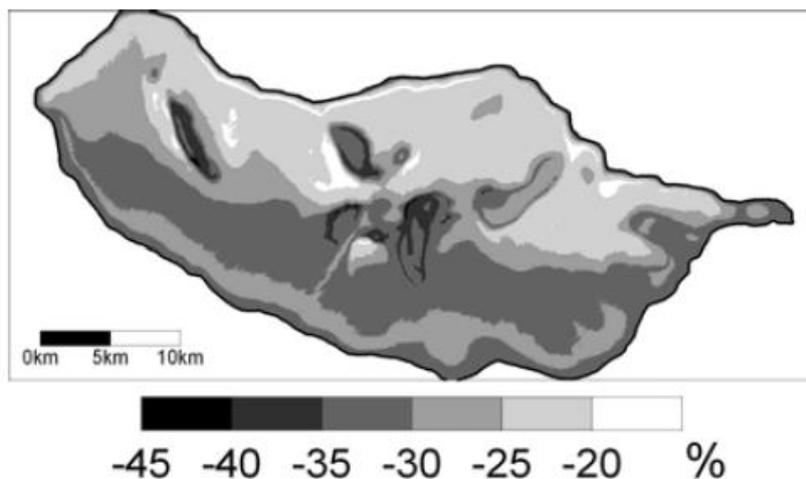


Figura 7.3.2.2 | Anomalías de precipitación anual en Madeira esperadas entre 2070-2099 (escenario A2) respecto al período de control 1961-1990. Fuente: Santos et al (2004).

7.4. NIVEL DEL MAR

7.4.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Guijarro et al (2014), de la Agencia Estatal de Meteorología (España), recopilaron datos de oleaje y temperatura superficial del mar del reanálisis ERA-Interim (1981-2013) para una extensa área que incluye el archipiélago de Madeira, comparándolos con los valores registrados por las boyas de aguas abiertas de la red de Puertos del Estado. La tendencia de aumento de temperatura del mar en el entorno de Madeira se calculó en torno a 2.5 °C/siglo, con una elevada significación estadística.

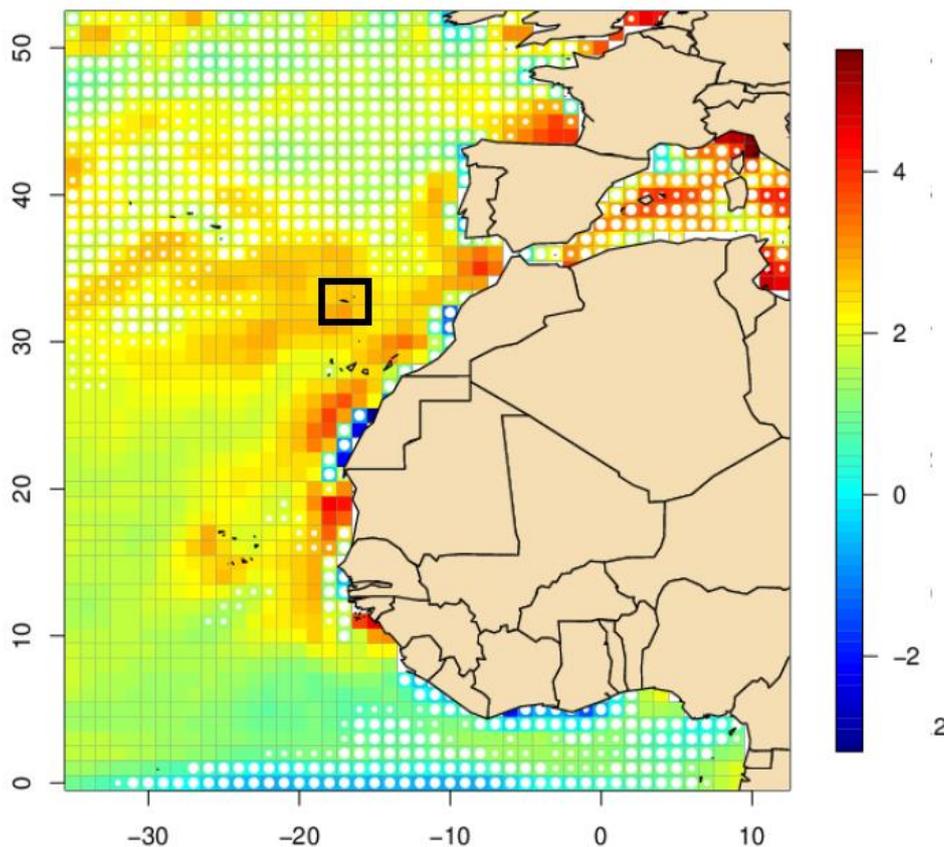


Figura 7.4.1.1 | Tendencias de la temperatura superficial (1981-2013) en °C /siglo para el Atlántico occidental. Entorno de Madeira encuadrado en negro. Fuente: Guijarro et al (2014).

7.5. OLEAJE

7.5.1. TENDENCIAS HISTÓRICAS

Los datos de Guijarro et al (2014), de la Agencia Estatal de Meteorología (España), procedentes de ERA-Interim (1981-2013), indican una tendencia histórica de aumento de la altura significativa del oleaje de 0.3 a 0.5 m por siglo, aunque sin significancia estadística.

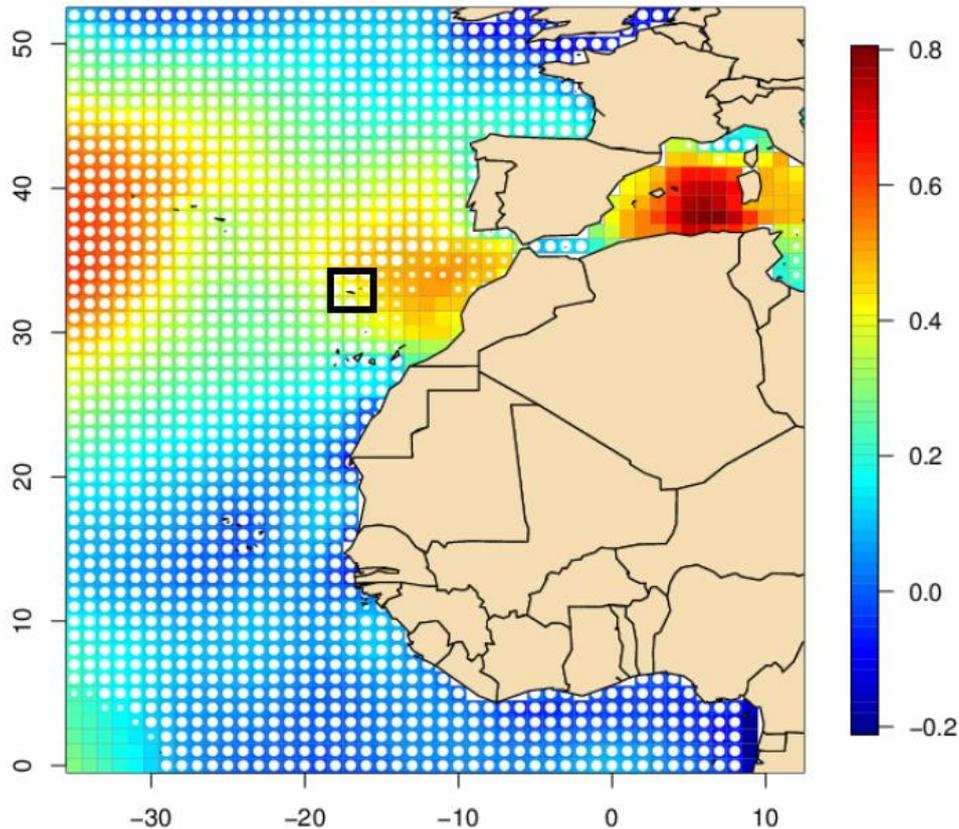


Figura 7.5.1.1 | Tendencias históricas de altura significativa (1981-2013) en m/siglo para el Atlántico occidental. Entorno de Madeira encuadrado en negro. Fuente: Guijarro et al (2014).

7.6. IMPACTOS PRINCIPALES

Los territorios insulares como Madeira son particularmente vulnerables a los cambios climáticos. La razón principal de esta sensibilidad es el hecho de que muchas de las medidas de adaptación que pueden adoptarse en áreas continentales, que implican la reubicación de recursos y actividades, no pueden llevarse a cabo en las áreas limitadas de la mayoría de las islas (Santos et al 2004). Por otra parte, las islas dependen mucho de sus áreas costeras, y éstas han sido identificadas como uno de los principales objetivos de los impactos climáticos (IPCC WGII TAR, 2001).

Los cambios de temperatura proyectados en Madeira son más altos que la media global y los cambios proyectados en las precipitaciones apuntan a una pérdida anual de agua muy significativa.

tiva, del orden de 1/3 de los valores actuales, así como a un cambio en el ciclo anual que conllevaría una reducción más acusada de la precipitación invernal. Madeira es una región altamente dependiente del turismo, y tiene varios ecosistemas naturales, entre ellos una gran superficie de bosque húmedo protegido que puede verse amenazada por un clima más seco. Además, los recursos hídricos de Madeira dependen en gran medida de la captura de humedad en las montañas que alimenta muchos pequeños ríos, sistemas de aguas subterráneas y sistemas de producción hidroeléctrica en embalses (Santos et al 2004).

7.6.1. INUNDACIONES

Uno de los riesgos naturales en Madeira que se puede ver intensificado con el cambio climático son las inundaciones por eventos prolongados y torrenciales de lluvia y los eventos de inestabilidad de tierras (deslizamientos) asociados.

Fragoso et al (2012), de las universidades de Lisboa (Portugal) y Colonia (Alemania), y del Laboratorio Regional de Ingeniería Civil (Madeira, Portugal), caracterizaron el episodio excepcional de lluvia y el contexto meteorológico del 20 de febrero que dio lugar a Inundaciones repentinas de 2010 en Madeira (Portugal). Encontraron que el periodo de retorno asociado a la precipitación diaria de las dos estaciones de registro (146,9 mm en Funchal y 333.8 mm en cumbres) fue de aproximadamente 290 años y 90 años, respectivamente. Indicaron, asimismo, que el evento se debió al paso de un ciclón tropical desplazándose hacia el este a través del Atlántico.

Marzol et al (2006), de las universidades de La Laguna (islas Canarias), Azores, Madeira, y del Instituto Nacional de Meteorología de Cabo Verde, examinaron los episodios diarios de lluvias más intensas, su duración y frecuencia, en Madeira, para determinar la vulnerabilidad del archipiélago ante fenómenos meteorológicos extremos de ese tipo. Este estudio concluye que las precipitaciones excepcionales se manifiestan en dos tipos de episodios: los cortos, con efectos inmediatos, y los prolongados, con daños desfasados en el tiempo. Mientras que los primeros son más probables en Canarias y Cabo Verde, sobre todo en las vertientes meridionales y áreas de mayor altitud, los segundos son más frecuentes en Madeira. En cuanto a las repercusiones en el territorio, los cortos y violentos causan importantes abarrancamientos y arrastres y son responsables de la erosión de amplios sectores de las islas mientras que los dilatados y desfasados provocan deslizamientos e inundaciones, debido a la saturación del suelo después de muchos días lloviendo.



Figura 7.6.1.1 | Foto que muestran los efectos destructivos de las inundaciones repentinas y los deslizamientos de tierra del 20 de febrero de 2010 en la isla de Madeira. Fuente: Fragoso et al (2012).

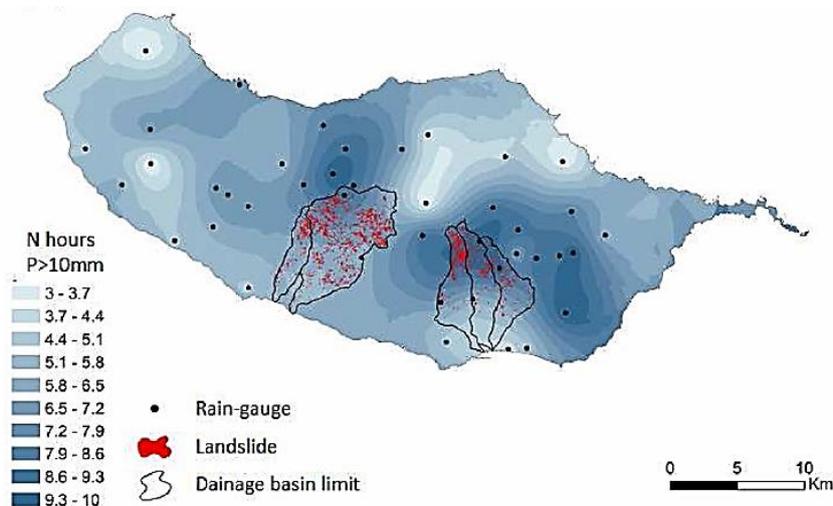


Figura 7.6.1.2 | Número de horas con precipitación superior a 10 mm y distribución de deslizamientos de tierra en las zonas de Funchal y Ribeira (Madeira) durante el 20 de febrero de 2010. Fuente: SRES, 2010.

7.6.2. SEQUÍAS

A finales del siglo XXI, el clima de Madeira será más cálido y seco, con mucha menos precipitación invernal, lo que impondrá un fuerte estrés en los recursos hidrológicos de la isla. Las partes montañosas más altas de Madeira, con valores de precipitación más grandes, son las que mayor

pérdida de precipitación sufrirán (hasta 900 mm/año) según el modelo de Santos et al (2004). Dado que estas regiones son los principales depósitos de recolección de agua en Madeira, una fuerte caída en el suministro de agua en las zonas más altas, junto con pérdidas en toda la isla durante la temporada lluvia, dejará la isla en una situación más vulnerable a episodios de sequía al final del siglo XXI, con impactos muy significativos en los recursos hídricos, en la biodiversidad florística y en la actividad agraria.

Según Cruz et al (2008), de la Universidad de Lisboa (Portugal, los escenarios de cambio climático muestran una clara tendencia a reducir la disponibilidad anual de agua en la isla de Madeira. Las proyecciones apuntan a una reducción del 40 al 50% en el volumen de agua disponible anualmente para recarga de acuíferos y escorrentía. El aumento esperado en el nivel del mar puede también incrementar el riesgo de intrusión salina en los acuíferos costeros.

7.6.3. BIODIVERSIDAD

Cruz et al (2008) realizan un examen de los principales impactos del cambio climático sobre los bosques y la biodiversidad de Madeira, encontrando:

- ✓ Una fuerte expansión en la altitud del área potencial del bosque, particularmente en el escenario A2, que tiene un mayor aumento de temperatura. El área potencial en el escenario A2 es mucho más pequeña que en el escenario B2, lo que refleja las condiciones más secas del primer escenario climático. Tanto los brezales como la laurisilva tendrán una expansión potencial de su área de distribución dado que la expansión en altitud será mayor que la contracción en las zonas más bajas.
- ✓ El impacto del cambio climático en el riesgo meteorológico de incendio será bajo, dado que las ocupaciones de tierra predominantes en esta área son la agricultura y espacios urbanizados. En altitud, existirá una tendencia a un aumento en el riesgo de incendio debido al aumento temperatura.
- ✓ Además de impactos directos, es posible que se produzca toda una serie de impactos indirectos que no pueden cuantificarse ni predecirse, como, por ejemplo, la introducción de plagas y enfermedades, cuyo desarrollo puede beneficiarse de las nuevas condiciones cambio climático.
- ✓ Los fenómenos climáticos extremos como la sequía o las olas de calor prolongadas pueden cambiar profundamente la dinámica de la vegetación.
- ✓ Las asociaciones de plantas que componen la laurisilva tenderán a establecerse en áreas previamente ocupadas con vegetación de altitud. Esta alternancia vegetativa se realizará gradualmente, y las asociaciones vegetativas se sucederán entre sí hasta que alcancen un clímax.

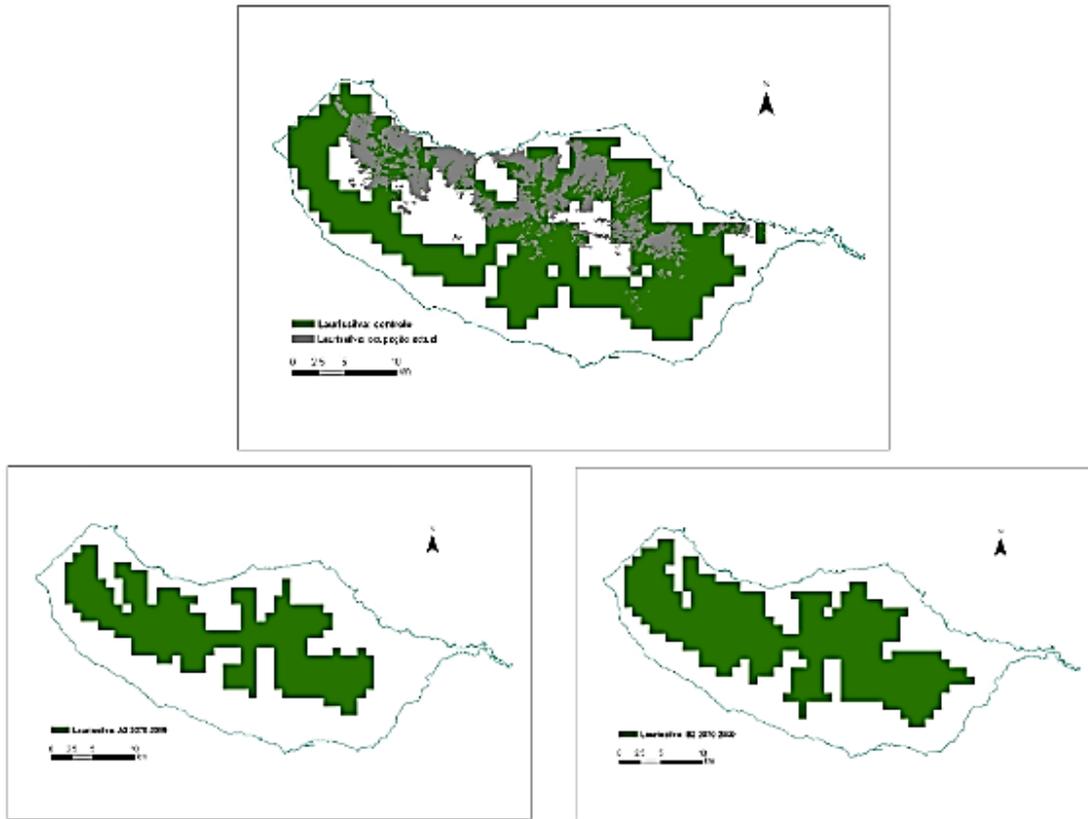


Figura 7.6.3.1 | Distribución geográfica potencial y ocupación de laurisilva en el escenario de control (superior); distribución geográfica potencial de laurisilva en escenarios futuros: A2 (inf. izquierda) y B2 (inf. derecha). Fuente: Cruz et al, 2008.

7.7. PROCESOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la adaptación del territorio al cambio climático y el aumento de la capacidad de secuestro de carbono son, actualmente, prioridades de la Secretaria de Medio Ambiente de la Región Autónoma de Madeira.

La inversión del Instituto de Bosques y Conservación de la Naturaleza, dirigida a reducir el riesgo de incendio y de avenidas, y a aumentar la capacidad de captura de carbono, aumentó un 39% entre 2019 y 2020. Además, el instituto aborda proyectos destinados a la eliminación de especies invasoras, reforestación, adquisición de material de prevención, vigilancia y lucha contra incendios. Con respecto al agua, los recursos se están destinando a preparar la región para la escasez de agua y contribuir al aumento de las energías renovables.

En 2015, por Resolución del Consejo de Gobierno N ° 1062/2015, de 26 de noviembre, el gobierno de Madeira aprobaba la Estrategia de Adaptación al cambio climático en la Región Autónoma de Madeira. Este documento contiene las principales líneas de acción en materia de miti-

gación y adaptación, generales y sectoriales, que adoptará la región frente cambio climático venidero. Los principales objetivos contenidos en la estrategia son los siguientes:

- ✓ Mejorar el conocimiento del sistema climático en Madeira.
- ✓ Reducir la vulnerabilidad de Madeira a los impactos del cambio climático.
- ✓ Promover una adaptación basada en las evidencias demostradas por estudios científicos.
- ✓ Integrar la adaptación a los instrumentos de gobierno vigentes en Madeira.
- ✓ Promover la participación y mejorar de las sinergias entre los diversos implicados en el proceso de adaptación.
- ✓ Promover la cooperación con entidades nacionales y de otras regiones ultraperiféricas.
- ✓ Coordinar el proceso de implementación y monitoreo, y actualizar anualmente los indicadores del Observatorio CLIMAMadeira.
- ✓ Presentar un informe anual de progreso.

Entre las principales medidas sectoriales, se recogen las siguientes:

Agricultura y bosques:

- ✓ Control de especies invasoras y monitoreo de plagas.
- ✓ Reforestación enmarcada en la preservación del bosque de Laurissilva
- ✓ Plan regional de defensa contra incendios.
- ✓ Asegurar la existencia de un paisaje diversificado y una red efectiva de corredores ecológicos
- ✓ Evaluación de la capacidad de almacenamiento de agua de los embalses.

Riesgos hidrogeomorfológicos:

- ✓ Cumplimiento de la planificación espacial.
- ✓ Instauración de sistemas de vigilancia y alerta contra movimientos en masa.
- ✓ Realización de acciones de formación y sensibilización sobre riesgos naturales.

Recursos hídricos

- ✓ Reducir las pérdidas de agua en transporte y distribución, eficiencia y racionalización del consumo.
- ✓ Reforestación de áreas degradadas y prevención de la destrucción de la cubierta vegetal.
- ✓ Mayor capacidad de almacenamiento de agua y mejores técnicas de riego.

Salud humana

- ✓ Reforzar los programas de vigilancia de mosquitos y garrapatas.
- ✓ Sistemas de alerta a las autoridades y a la población en caso de olas de calor.
- ✓ Fortalecer la atención primaria de salud por el posible aumento de enfermedades cardiorrespiratorias y/o transmitidas por vectores.

Turismo

- ✓ Gestión y mantenimiento de infraestructuras marítimas, dimensionadas al nuevo contexto climático.
- ✓ Programas "Más Naturaleza", con jerarquía de caminos peatonales y comunicación de riesgos.



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

8

CONCLUSIONES



8.1. TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y PROYECCIONES EN LOS TERRITORIOS MAC-CLIMA

La **temperatura** es la variable que menos dudas deja en cuanto a su comportamiento histórico y en cuanto a las proyecciones a futuro en los territorios Mac-Clima. Los valores de temperatura son los que muestran resultados más concluyentes y más sólidos desde una perspectiva estadística. Los datos recogidos en este informe, de los diferentes trabajos científicos sobre cambio climático en los territorios Mac-Clima, indican dos puntos concluyentes:

1. La tendencia histórica de los registros de temperatura durante el S.XX y principios del XXI es de un acenso inequívoco, y acelerado en últimas décadas, en los territorios Mac-Clima. Las tendencias históricas marcan, en general, un incremento histórico, en torno a 1°C, fundamentalmente durante el siglo XX, siendo más acusado en las áreas continentales interiores de Mauritania y Senegal o en las vertientes montañosas de algunas islas macaronésicas.
2. Las proyecciones para el S.XXI marcan, inequívocamente, ascensos progresivos de las temperaturas, cuya intensidad depende de los escenarios de emisiones considerados, pero que puede oscilar entre 1-5°C de media, acusándose especialmente en las áreas continentales interiores de Mauritania y Senegal o en las áreas montañosas de las islas macaronésicas.

En la siguiente tabla (Tabla 8.1.1) se resumen los valores de tendencias históricas y proyecciones de las temperaturas en los territorios MAC-Clima recopilados en este informe:

Tipo dato	Parámetro	Ámbito	Periodo	Valores	Unidades	Escen.	Fuente
Tendencias históricas	Temperatura	Territorios Mac-Clima	1901-2012	~1	°C	-	IPCC, 2013
	Temperatura	Territorios Mac-Clima	1950-2010	0.5 a 0.8	°C	-	USAID, 2018
	Temperatura	Senegal, Mauritania, Cabo Verde	1983-2010	0.2 a 0.4	°C/década	-	Harris et al, 2014; Legates y Willmott, 1990; Novella y Thiaw, 2013
	Temperatura	África occidental	1960-2010	~1	°C	-	Daron, 2014
	N noches frías	Sahel occidental	1910-2010	-0.2 a -0.4	pendiente (N)	-	Ly et al, 2013
	N días cálidos	Sahel occidental	1910-2010	0.0 a 1.5	pendiente (N)	-	
	N olas de calor	Sahel occidental	1910-2010	0.0 a 0.9	pendiente (N)	-	
	Temperatura	Senegal, Mauritania	1960-2003	0.9	°C	-	IPCC, 2013; CCKP; McSweeney et al, 2010
	Temperatura	Senegal, Mauritania	1960-2003	0.2	°C/década	-	
	N noches cálidas	Senegal, Mauritania	1960-2003	7.3	%	-	
	Temperatura	Senegal	1994-2013	0.9	°C	-	Faye, 2018
	Temperatura	Centro-norte Senegal	1971-1998	0.05	%	-	Fall et al, 2006
	Temperatura	Dakar (Senegal)	1979-2016	0.02	°C/año	-	ERA Interim
Temperatura	Nouakchott (Mauritania)	1979-2016	0.02	°C/año	-		
Temperatura	Trarza (Mauritania)	1970-2013	0.2 a 0.4	°C/década	-	Yacoub y Tayfor, 2018	

	Temperatura	Macaronesia	1973-2012	0.3 a 0.5	°C/década	-	Cropper, 2013
	Temperatura	Cabo Verde	1960-2006	0.6	°C	-	IPCC, 2013; CCKP; McSweeney et al, 2010
	Temperatura	Cabo Verde	1960-2006	0.14	°C/década	-	
	Temperatura	Cabo Verde	desde 1885	0.30 a 0.38	°C/década	-	Crooper y Hanna, 2014
	Temperatura	Boa Vista (Cabo Verde)	1980-2018	0.015	°C/año	-	POOC-M
	Temperatura	Islas Canarias	desde 1885	0.1	°C/década	-	Crooper y Hanna, 2014
	Temperatura	Gran Canaria (islas Canarias)	1946-2010	0.09	°C/década	-	Luque et al, 2014
	Temperatura	Gran Canaria (islas Canarias)	1970-210	0.17	°C/década	-	
	Temperatura	Fuerteventura (islas Canarias)	1980-2018	0.06	°C/año	-	elittoral SLNE, 2019
	Temperatura max.	Funchal (Madeira)	desde 1975	0.53	°C/década	-	Santos et al, 2004
	Temperatura min.	Funchal (Madeira)	desde 1975	0.66	°C/década	-	
	Temperatura	Funchal (Madeira)	1973-1999	0.33	pendiente (°C/dec)	-	Crooper, 2013
	Temperatura	Funchal (Madeira)	1973-2012	0.35	pendiente (°C/dec)	-	
	Temperatura	Portosanto (Madeira)	1973-1999	0.39	pendiente (°C/dec)	-	
	Temperatura	Portosanto (Madeira)	1973-2012	0.34	pendiente (°C/dec)	-	
Proyecciones	Temperatura	A. continentales Mac-Clima	2100	2 a 3	°C	RCP4.5 P50%	IPCC, 2014
	Temperatura	A. continentales Mac-Clima	2100	4 a 5	°C	RCP8.5 P50%	
	Temperatura	A. costeras Mac-Clima	2100	1 a 1.5	°C	RCP4.5 P50%	
	Temperatura	A. costeras Mac-Clima	2100	2 a 3	°C	RCP8.5 P50%	
	Temperatura	A. continentales Mac-Clima	2100	0.5 a 3	°C	RCP4.5 P25-75%	
	Temperatura	A. continentales Mac-Clima	2100	0.5 a 3	°C	RCP8.5 P25-75%	
	Temperatura	A. costeras Mac-Clima	2100	0.0 a 2	°C	RCP4.5 P25-75%	
	Temperatura	A. costeras Mac-Clima	2100	0.5 a 2	°C	RCP P25-75%	
	Temperatura	Macaronesia	2071-2100	0.6 a 3.2	°C	-	Crooper, 2013
	Temperatura	Senegal	2030	~1	°C	RCP4.5	
	Temperatura	Senegal	2030	1.6	°C	RCP8.5	IPCC, 2013; CCKP; McSweeney et al, 2010
	Temperatura	Senegal	2050	1.4	°C	RCP4.5	
	Temperatura	Senegal	2050	2.2	°C	RCP8.5	
	Temperatura	Senegal	2100	~2	°C	RCP4.5	
	Temperatura	Senegal	2100	~4	°C	RCP8.5	
	Temperatura	Senegal	2050	~2	°C	RCP4.5	Tall et al, 2016
Temperatura	Senegal	2100	3 a 5.5	°C	RCP8.5		
Temperatura	Mauritania	2040	1.1	°C	RCP4.5	IPCC, 2013; CCKP; McSweeney et al, 2010	
Temperatura	Mauritania	2040	1.3	°C	RCP8.5		
Temperatura	Mauritania	2060	1.7	°C	RCP4.5		
Temperatura	Mauritania	2060	2.3	°C	RCP8.5		
Temperatura	Mauritania	2100	2.2	°C	RCP4.5		
Temperatura	Mauritania	2100	4.6	°C	RCP8.5		
Temperatura	Cabo Verde	2060	0.7 a 2.5	°C	-		
Temperatura	Cabo Verde	2090	1.2 a 3.7	°C	-		
N días calidos	Cabo Verde	2060	16 a 32	%	-		
N días calidos	Cabo Verde	2090	23 a 51	%	-		
N noches	Cabo Verde	2060	23 a 49	%	-		

calidas							
N noches cálidas	Cabo Verde	2090	31 a 79	%	-		
Temperatura	Cabo Verde	2100	2 a 2.5	°C	-	Asunção-Ramos, 2014	
Temperatura	Islas Canarias	2100	~1	°C	RCP2.6	AEMET; Expósito et al, 2015	
Temperatura	Islas Canarias	2100	~4	°C	RCP8.5		
Temperatura	Fuerteventura (Canarias)	2050	0.1 a 0.5	°C	-	elittoral SLNE, 2019	
Temperatura max.	Madeira	2070-2099	2.4 a 3	°C	A2	Santos et al, 2004	
Temperatura max.	Madeira	2070-2099	1.6 a 2.2	°C	B2	Santos et al, 2004	
Temperatura min.	Madeira	2070-2099	2.6 a 2.9	°C	A2	Santos et al, 2004	
Temperatura min.	Madeira	2070-2099	1.5 a 1.8	°C	B2	Santos et al, 2004	
Temperatura	Madeira	2100	0.99	°C	RCP2.6	IPCC, 2013; Crooper, 2013	
Temperatura	Madeira	2100	1.51	°C	RCP4.5		
Temperatura	Madeira	2100	1.71	°C	RCP6.0		
Temperatura	Madeira	2100	2.74	°C	RCP8.5		
Temperatura	Madeira	2100	0.99±0.1	%	RCP2.6	Crooper, 2013	
Temperatura	Madeira	2100	1.51±0.1	%	RCP4.5		
Temperatura	Madeira	2100	1.71±0.2	%	RCP6.0		
Temperatura	Madeira	2100	2.74±0.2	%	RCP8.5		
Temperatura	Canarias	2100	0.96±0.1	%	RCP2.6		
Temperatura	Canarias	2100	1.44±0.14	%	RCP4.5		
Temperatura	Canarias	2100	1.69±0.24	%	RCP6.0		
Temperatura	Canarias	2100	2.68±0.23	%	RCP8.5		
Temperatura	Cabo Verde	2100	1.03±0.15	%	RCP2.6		
Temperatura	Cabo Verde	2100	1.59±0.1	%	RCP4.5		
Temperatura	Cabo Verde	2100	1.94±0.2	%	RCP6.0		
Temperatura	Cabo Verde	2100	2.96±0.2	%	RCP8.5		

En la literatura se advierte de que el análisis de escenarios e impactos del cambio climático en pequeñas islas, como Madeira, Canarias, o Cabo Verde, son bastante difíciles, ya que los modelos de circulación global (GCM), que son la herramienta principal para producción de escenarios climáticos regionalizados, no puede simular con precisión la topografía a pequeña escala y las características costeras de estos territorios. Los GCMs no tiene resolución suficiente, por lo que las proyecciones se basan en cálculos sobre la superficie del océano que no tienen en cuenta las influencias físicas del relieve de las islas.

A escala global, la confianza en las observaciones de cambio promedio de las **precipitaciones**, así como en las proyecciones a futuro, es mucho más baja que en el caso de las temperaturas. En los territorios MAC-Clima, los modelos climáticos, así como las tendencias históricas analizadas, muestran poca consistencia en el signo de cambio de las lluvias (aumento o disminución), y en la amplitud con qué lo hará en un futuro; mostrando en muchos casos tendencias significativas en ambas direcciones debido a la incapacidad de los GCM (Global Change Model) para resolver la lluvia convectiva y las topografías complejas.

A esto se añade la complejidad intrínseca de los territorios MAC-Clima, caracterizados por la irregularidad interanual y ciclos interdecadales de las lluvias. En relación a esto, los modelos climáticos presentan de errores significativos en la simulación de la posición de la Zona de Con-

vergencia del Intertropical en el Atlántico y en la previsión de la frecuencia de ciclones, lo que causa importantes errores sistemáticos en las proyecciones de lluvia simuladas en esta región.

Así como las tendencias de precipitación son más controvertidas desde una perspectiva estadística, las proyecciones en los territorios MAC-Clima apuntan de una forma más consistente hacia una reducción de las lluvias a lo largo del S. XXI a consecuencia del cambio climático. En general, se puede afirmar lo siguiente en cuanto a las observaciones de lluvias y proyecciones de precipitación recogidas en los diferentes trabajos que se han consultado en este informe:

1. Las observaciones históricas presentan una alta variabilidad y escasa significación estadística. Generalmente, las tendencias observadas son negativas (se observan reducciones de las precipitaciones en época histórica), pero raramente tienen una consistencia estadística que permita afirmar la existencia de dicha tendencia de forma fiable. Aunque la información disponible indica que las precipitaciones disminuirán durante el próximo siglo, la alta variabilidad que se muestra en los datos no permite predecir la tendencia con total fiabilidad.
2. Los modelos predictivos apuntan a reducciones de la precipitación a lo largo del siglo XXI, aunque la significancia matemática tampoco está garantizada en todos los casos. Además, se prevé un aumento de la variabilidad climática, con más lluvias torrenciales, inundaciones y sequías, y períodos lluviosos más cortos.

En la siguiente tabla (Tabla 8.1.2) se resumen los valores de tendencias históricas y proyecciones futuras de las precipitaciones en los territorios MAC-Clima recopilados en este informe:

Tipo dato	Parámetro	Ámbito	Periodo	Valores	Unidades	Escenario	Fuente
Tendencias hist.	Precipitación	Territorios Mac-Clima	1951-2010	-50	%	-	IPCC, 2013
	Precipitación	Senegal	1901-2013	-6	%	-	
	Precipitación	Senegal, Mauritania, Cabo Verde	1983-2010	-0.1 a -0.5	mm/década	-	Harris et al, 2014; Legates y Willmott, 1990; Novella y Thiaw, 2013
	Precipitación	Sal (Cabo Verde)	1955-2005	-4	mm/década	-	Lacerda et al, 2015
	Precipitación	Boa Vista (Cabo Verde)	desde 1985	0.3 ± 0.1	mm/año	-	Cropper y Hanna, 2014; MERRA-2
	Precipitación	Fuerteventura (islas Canarias)	1980-2018	-0.13 ± 0.1	l/m ²	-	elittoral SLNE, 2019
	Precipitación	Canarias (montaña)	1970-2010	-40 a -60	mm/década	-	Máyer et al, 2015; De Luque y Martín, 2011; Hernández et al, 2012
	Precipitación	Dakar (Senegal)	1950-2016	-0.8 ± 0.2	mm/año	-	Era Interim
	Precipitación	Dakar (Senegal)	1979-2016	0.9 ± 0.3	mm/año	-	
	Precipitación	Dakar (Senegal)	2008-2017	0.77	mm/mes	-	
	Precipitación	Ziguinchor (Senegal)	1922-2015	-2.75	pendiente (mm/año)	-	Koudahe et al, 2017
	Precipitación	Kolda (Senegal)	1922-2016	-2.71	pendiente (mm/año)	-	
	Precipitación	Kedougou (Senegal)	1922-2017	-2.2	pendiente (mm/año)	-	
	Precipitación	Tambacounda (Senegal)	1922-2018	-2.6	pendiente (mm/año)	-	
Precipitación	Nouakchott (Mauritania)	1950-2016	-0.04	mm/año	-	Era Interim	
Precipitación	Nouakchott (Mauritania)	1979-2016	0.5	mm/año	-		

Proyecciones	Precipitación	Trarza (Mauritania)	1970-2013	2.93 a 3.35	mm/año	-	Yacoub y Tayfor, 2018	
	Precipitación	Atar Mauritania)	1923-2004	-0.23	<i>Spearman</i>	-	Ahmmmed et al, 2008	
	Precipitación	Senegal, Mauritania, Cabo Verde	2036-2065	-5 a -20	mm	RCP4.5	Giorgi et al. 2009; Sylla et al, 2016	
	Precipitación	Senegal, Mauritania, Cabo Verde	2036-2066	-10 a -30	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Senegal, Mauritania, Cabo Verde	2071-2100	-10 a -30	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Senegal, Mauritania, Cabo Verde	2071-2100	-10 a -40	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Senegal	2041- 2060	10 a 25	%	-		Tall et al, 2016
	Precipitación	Senegal	2080-2099	<50	%	-	IPCC, 2013; CCKP; McSweeney et al, 2010	
	Precipitación	Senegal	2030	-2.8	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Senegal	2030	-2.35	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Senegal	2050	-0.04 a 3	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Senegal	2050	-3.2	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Senegal	2100	3	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Senegal	2100	-7.5	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Mauritania	2020-2039	-0.7	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Mauritania	2020-2039	-0.6	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Mauritania	2050	-0.6	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Mauritania	2050	-1.1	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Mauritania	2100	-1.4	mm	RCP4.5		
	Precipitación	Mauritania	2100	-2.5	mm	RCP8.5		
	Precipitación	Cabo Verde	2100	-5 a -20	%	-		Asunção Ramos, 2014
	Precipitación	Madeira	2100	0.4±4.1	%	RCP2.6		Cropper, 2013
	Precipitación	Madeira	2100	-6.4±4.2	%	RCP4.5		
	Precipitación	Madeira	2100	-13.3±6.5	%	RCP6.0		
	Precipitación	Madeira	2100	-22.1±5.2	%	RCP8.5		
	Precipitación	Canarias	2100	-10.6±5.3	%	RCP2.6		
	Precipitación	Canarias	2100	-19.1±4.3	%	RCP4.5		
	Precipitación	Canarias	2100	-23.6±8.8	%	RCP6.0		
Precipitación	Canarias	2100	-36.7±5.6	%	RCP8.5			
Precipitación	Cabo Verde	2100	-8.3±8.9	%	RCP2.6			
Precipitación	Cabo Verde	2100	-9.8±17.6	%	RCP4.5			
Precipitación	Cabo Verde	2100	-11.4±13.7	%	RCP6.0			
Precipitación	Cabo Verde	2100	-26.6±9.8	%	RCP8.5			
Precipitación	Madeira	2070-2099	-20 a -35	%	-	Santos et al, 2014		

En cuanto a los cambios en el **clima marítimo**, existe, en general una carencia mucho mayor de datos, tanto en tendencia históricas como en proyecciones. Sin embargo, algunas tendencias históricas y proyecciones para el siglo XXI son bastante consistentes a nivel global y regional. Conforme a los datos recopilados, pueden adoptarse las siguientes conclusiones:

1. El calentamiento de la superficie del océano y el ascenso del nivel medio del mar es un proceso que afecta y afectará al conjunto de los territorios MAC-Clima a un nivel de confianza elevado. Se puede hablar de una subida del nivel medio del mar de 0.25 m en 2050 y de 0.50 m para 2100, con ciertas variaciones locales y según los diferentes escenarios de emisiones.
2. Los modelos de oleaje requieren técnicas complejas de escalado (downscaling), por lo que se carece de datos que cubran el conjunto de la región MAC-Clima. Los modelos más precisos son los desarrollados por el IH de Cantabria, para las islas Canarias, que indican incrementos en la altura significativa, periodo pico y modificaciones en la dirección de procedencia del oleaje para 2100.

En la siguiente tabla (Tabla 8.1.3) se resumen los valores de tendencias históricas y proyecciones futuras en diferentes variables marítimas recopilados en este informe para los territorios MAC-Clima:

Tipo de dato	Parámetro	Ámbito	Periodo	Valores	Unidades	Escenario	Fuente
Tendencias hist.	Temperatura mar	Global	1971-2010	0.11	°C /década	-	IPCC, 2013
	Nivel del mar	Dakar (Senegal)	S.XX	1.4	mm/año	-	MEPN, 2006
	Nivel del mar	Senegal	1992-2007	0.25 ± 0.06	cm/año	-	CCKP; ESA
	Nivel del mar	Mauritania	1992-2007	0.32 ± 0.06	cm/año	-	
	Nivel del mar	Cabo Verde	1991-2015	0.19 ± 0.03	cm/año	-	POOC-M; ECCO
	Nivel del mar	Fuerteventura (Canarias)	1992-2015	0.21 ± 0.03	cm/año	-	elittoral SLNE, 2019
	Nivel del mar	Fuerteventura (Canarias)	2004-2018	0.297 ± 0.096	cm/año	-	REDMAR
	Temperatura mar	Madeira	1981-2013	2.5	°C /siglo	-	Guijarro et al, 2014; Era Interim
	Temperatura mar	Fuerteventura (Canarias)	1982-2017	0.022 ± 0.005	°C /año	-	elittoral SLNE, 2019
	Temperatura mar	Boa Vista (Cabo Verde)	1982-2017	0.028 ± 0.005	°C/año	-	GHRSS NASA
Proyecciones	Nivel del mar	Boa Vista (Cabo Verde)	1991-2015	0.19 ± 0.03	cm/año	-	v4r3-ECCO
	Temperatura mar	Global	2100	0.6	°C	RCP2.6	IPCC, 2014
	Temperatura mar	Global	2100	2	°C	RCP8.5	
	Nivel del mar	Territorios MAC-Clima	-	0.2-0.3	cm/año	-	Beckley et al, 2017
	Nivel del mar	Territorios MAC-Clima	1986-2100	0.4-0.5	m	RCP2.6	IPCC, 2014
	Nivel del mar	Territorios MAC-Clima	1986-2100	0.4-0.6	m	RCP4.5	
	Nivel del mar	Territorios MAC-Clima	1986-2100	0.5-0.6	m	RCP6.0	
	Nivel del mar	Territorios MAC-Clima	1986-2100	0.6-0.7	m	RCP8.5	
	Nivel del mar	África Occidental	2050	0.26	m	RCP4.5	IPCC, 2014; IUNC, 2014
	Nivel del mar	África Occidental	2100	0.47	m	RCP4.5	
	Nivel del mar	África Occidental	2050	0.3	m	RCP8.5	IPCC, 2014
	Nivel del mar	África Occidental	2100	0.5 a 0.9	m	RCP8.5	
	Nivel del mar	Senegal, Mauritania	2040-2059	0.2	m	RCP4.5	IOC 2009; Perrette et al, 2012; Niang et al, 2014
	Nivel del mar	Senegal, Mauritania	2040-2059	0.6	m	RCP8.5	
	Nivel del mar	Senegal, Mauritania	2080-2099	0.86	m	RCP4.5	
	Nivel del mar	Senegal, Mauritania	2080-2099	1.06	m	RCP8.5	Perrette et al, 2012; Niang et al, 2014
	Nivel del mar	Cabo Verde	2100	0.13 a 0.43	m	RCP2.6	IPCC, 2013; CCKP; McSweeney et al, 2010
	Nivel del mar	Cabo Verde	2100	0.16 a 0.53	m	RCP4.5	
	Nivel del mar	Cabo Verde	2100	0.18 a 0.56	m	RCP8.5	
	Nivel del mar	Islas Canarias	2050	0.25	m	-	IPCC, 2013
	Nivel del mar	Islas Canarias	2100	0.74	m	-	
	Nivel del mar	Islas Canarias	2100	40.6 ± 16.5	cm	RCP2.6	Fraille-Jurado et al, 2014; ESA
Nivel del mar	Islas Canarias	2100	64.6 ± 16.5	cm	RCP8.5		
Temperatura mar	Islas Canarias	2100	0.7 a 1.2	°C	RCP4.5	IH-Cantabria	
Temperatura mar	Islas Canarias	2100	1.3 a 2.2	°C	RCP8.5		
Nivel del mar	Islas Canarias	2100	0.4 a 0.5	m	RCP4.5		
Nivel del mar	Islas Canarias	2100	0.6 a 0.7	m	RCP8.5		

8.2. RIESGOS, IMPACTOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS TERRITORIOS MAC-CLIMA

La erosión costera, las sequías, las olas de calor o las inundaciones son actualmente los peligros naturales que representa el cambio climático para los territorios MAC-Clima. Las causas de los riesgos, generalmente, son tanto naturales como humanas. Es decir, los riesgos naturales existentes, asociados al cambio climático, se están viendo potenciados por las acciones humanas sobre el territorio.



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

La erosión costera y la pérdida de suelos en el interior de los continentes se está viendo acelerada por el aumento del nivel del mar y por la intensificación de los episodios de lluvias torrenciales. Derivado de estos procesos, se están produciendo inundaciones en las zonas costeras bajas y aumentos de la salinización de la tierra y de los recursos hídricos, subterráneos y superficiales. Parte de estos procesos se deben a factores humanos como la urbanización desordenada, la proliferación de infraestructuras costeras, la multiplicación de presas en las cuencas fluviales, la deforestación o las actividades extractivas.

Los países continentales de MAC-Clima (Senegal y Mauritania) se caracterizan por las topografías bajas, donde las inundaciones son el resultado del desbordamiento de las grandes cuencas fluviales debido a la combinación de fuertes lluvias, infraestructuras de drenaje inadecuadas y temporales marinos en la costa. En las áreas costeras, el efecto de los desbordamientos fluviales se ve potenciado por el aumento del nivel del mar y por alteraciones humanas de la costa. A su vez, este aumento del nivel del mar está desencadenado, sobre todo en las costas arenosas de los países continentales de MAC-Clima (Senegal y Mauritania), intensos procesos erosivos que conllevan un fuerte retroceso de la línea de costa en muchos puntos del país.

En los territorios de los archipiélagos de MAC-Clima (Cabo Verde, Canarias y Madeira) las topografías son muy contrastadas y las inundaciones se producen por la rápida concentración de agua en cuencas cortas y de elevada pendiente. Mientras que, en Cabo Verde y Canarias, estas inundaciones suelen venir desencadenadas por lluvias torrenciales concentradas en lapsos cortos de tiempo, que generan erosión de los suelos, Madeira es más propensa a sufrir inundaciones a raíz de acumulaciones muy prolongadas de lluvias que suelen traer consigo graves fenómenos de inestabilidad de los terrenos y laderas. En el caso de Cabo Verde, las lluvias torrenciales incrementadas por efecto del cambio climático, están fuertemente relacionadas con el índice de erosión de los suelos, provocando asimismo movimientos en masa y deslizamientos que provocan daños materiales, desabastecimiento de agua potable y daños en infraestructuras tanto de suministro eléctrico como de transporte. En Canarias y Madeira, el aumento de la concentración en las precipitaciones estivales puede ser considerado un indicio de una incipiente *tropicalización* de las condiciones climáticas de la región que viene acompañada de la llegada de ciclones o tormentas tropicales.

Se espera que las áreas tradicionalmente áridas se vuelvan todavía más secas, a medida que las temperaturas más altas intensifican la evapotranspiración, incluso en ausencia de disminución de lluvia. En los territorios MAC-Clima, la disminución de las precipitaciones y la contracción de la temporada de lluvias tiene y tendrá efectos en todos los sistemas productivos y ambientales, determinando a su vez el aumento de la salinidad del agua y el suelo. Una de las consecuencias más importantes de la escasez de agua, sobre todo en los países más desfavorecidos, como Senegal, Mauritania o Cabo Verde, será la migración de personas entre regiones del país. Sobre todo, en Mauritania, se espera que se intensifiquen las sequías y las inundaciones, provocando desplazamientos humanos y fuertes crecimientos poblacionales de las ciudades. En Cabo Verde, casi el 70% de la población vive en zonas rurales y las sequías tienen un impacto que, si persiste, puede reducir la productividad agrícola, aumentar la pobreza e incrementar la migración campo-ciudad.



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

Los cambios en las precipitaciones en Madeira y Canarias apuntan a una pérdida anual de agua muy significativa, del orden de 1/3 de los valores actuales, así como a un cambio en el ciclo anual que conllevaría una reducción acusada de la precipitación invernal. Madeira y Canarias son archipiélagos altamente dependientes del turismo, y tienen varios ecosistemas naturales, entre ellos grandes superficies de bosques húmedos protegidos, que pueden verse amenazados por un clima más seco. Además, los recursos hídricos de Madeira y Canarias dependen en gran medida de la captura de humedad en las montañas, que alimenta los cursos superficiales y los sistemas de aguas subterráneas.

Otro de los riesgos del cambio climático, constatado sobre todo en Canarias, son las olas de calor. El número, intensidad y extensión de olas de calor ha sido notablemente mayor en los últimos años en relación a las décadas anteriores. Y en relación con las olas de calor y las sequías prolongadas también se ha intensificado el riesgo de incendios en los archipiélagos más poblados por masas forestales (islas occidentales de Canarias y Madeira). Por ejemplo, los mayores incendios forestales en la historia de las Islas Canarias se han producido en el siglo XXI, con grandes costes socioeconómicos asociados. Asimismo, el aumento de la frecuencia de olas de calor podrá afectar de manera importante a la salud, produciendo el aumento de muertes directas a causa del calor, así como producir aumentos puntuales de enfermedades transmitidas por insectos.

Los territorios MAC-Clima son muy vulnerables a los impactos del cambio climático. Sobre todo, los países menos desarrollados (Mauritania, Senegal y Cabo Verde), debido a su dependencia respecto al rendimiento del sector primario (pesca, agricultura, ganadería), muy vinculado a su vez a las condiciones naturales y muy sensible a las modificaciones climáticas. El sector agrícola desempeña un papel fundamental en la situación de seguridad alimentaria y económica de estos países. La agricultura está mal mecanizada y depende casi por completo de las lluvias de verano, limitadas y variables. Se espera además que la reducción de la precipitación y las temperaturas más altas aumenten la desertificación y la intrusión de arena en las zonas cultivables.

Los territorios más desarrollados (Canarias y Madeira) son igualmente vulnerables, debido a su dependencia económica respecto al sector turístico, amenazado por el cambio climático a través de la subida del nivel medio del mar y los riesgos de inundación y erosión costera. Al igual que para estos últimos, para Cabo Verde, la erosión de las costas debido a un posible aumento en el nivel del mar podría ser una gran limitación para el desarrollo del turismo, además de generar la salinidad en los pozos y provocar el desplazamiento de personas a las partes interiores. A ello se suma que muchas medidas de adaptación que pueden adoptarse en áreas continentales, que implican la reubicación de recursos y actividades, no pueden llevarse a cabo en las áreas limitadas de la mayoría de las islas.

Frente a estos riesgos, cada país y territorio del ámbito MAC-Clima está estableciendo una serie de estrategias y medidas para adaptarse progresivamente a los efectos del cambio climático, incluyendo a los diversos sectores económicos y sociales que componen los territorios. Estos se presentan en forma de planes, estrategias y programas que emanan de los organismos oficiales e instituciones competentes en cada país. Aunque con diferencias evidentes en la situación de partida, en cuanto a recursos disponibles, capacidades de adaptación y estructuras institucionales, los objetivos de mitigación y adaptación frente al cambio climático son relativamente comunes. A continuación, se hace una relación de los objetivos más importantes recogidos en los diferentes documentos de adaptación en los territorios MAC-Clima.

Sobre el SECTOR AGRARIO se plantean las siguientes necesidades y objetivos generales de adaptación:

- ✓ Mejora de las técnicas de fertilización y de la organización de los sistemas agrícolas para conseguir aumentar los rendimientos productivos.
- ✓ Establecimiento de sistemas de alerta temprana de plagas y eventos meteorológicos extremos.
- ✓ Mejora y/o mantenimiento de la salud del ganado.
- ✓ Implantación de mecanismos de seguro y protección social frente a riesgos climáticos.
- ✓ Diversificación de los cultivos y fomento del uso de variedades de ciclo corto, tolerantes a la salinidad y de mayor rendimiento.
- ✓ Fomento del uso de semillas mejoradas, en particular en aquellas regiones con mayor déficit hídrico.
- ✓ Prevención de los incendios forestales mediante sistemas de gestión y mantenimiento de los montes y masas forestales.
- ✓ Mejora de la difusión de información del cambio climático y las opciones de adaptación del sector agrícola.
- ✓ Fomento de prácticas integradas de gestión del suelo para rehabilitar tierras degradadas y preservar la fertilidad de los suelos.
- ✓ Fomento del aterrazamiento en laderas productivas con riesgo de erosión.

Sobre los ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD:

- ✓ Desarrollo de proyectos de reforestación y restauración de suelos que ayuden a prevenir inundaciones y reestablezcan un funcionamiento correcto del ciclo hidrológico.
- ✓ Restauración en zonas manglares que reduzca el riesgo de erosión costera (Senegal).
- ✓ Restauración y conservación de sistemas dunares.
- ✓ Programas de seguimiento y protección de especies vegetales y animales potencialmente amenazadas por el cambio climático, con particular atención a los endemismos, muy abundantes en los archipiélagos macaronésicos.

Sobre los RECURSOS HÍDRICOS:

- ✓ Aumento y/o mantenimiento de las capacidades de almacenamiento en presas y embalses. Protección de las infraestructuras hidráulicas, incluyendo áreas de captación.
- ✓ Construcción y/o mantenimiento de unidades de desalinización y bombeo de agua para de agua potable y de riego.
- ✓ Desarrollo de sistemas integrados de gestión de los recursos hídricos.
- ✓ Desarrollo de programas educativos sobre uso y gestión del agua.
- ✓ Gestión del agua en base al mantenimiento del equilibrio entre explotación y renovación de las aguas subterráneas.

Sobre PRODUCCION ENERGÉTICA:

- ✓ Fomento e incremento de la producción de energía eólica y solar (fuentes renovables).

Sobre las ZONAS COSTERAS:

- ✓ Implantación de los objetivos de la gestión integrada de zonas costeras (GIZC).
- ✓ Establecimiento de regulaciones estrictas sobre usos y ocupación del suelo costero.
- ✓ Fomento del uso y aprovechamiento adecuado de las playas y sistemas costeros arenosos para garantizar su integridad y conservación.
- ✓ Mejora del conocimiento de las costas y de los riesgos costeros asociados al cambio climático.
- ✓ Promoción de formas de turismo y deporte sostenibles.
- ✓ Rehabilitación o construcción de infraestructuras para la protección de las zonas costeras frente al aumento del nivel del mar y la erosión de las playas.
- ✓ Implantación de ecotasas turísticas en zonas costeras sobreexplotadas.

Sobre las ZONAS URBANAS:

- ✓ Desarrollo de planes de restauración urbana y proyectos integrales de vivienda.
- ✓ Acondicionamiento y/o mantenimiento de la infraestructura de saneamiento y alcantarillado en zonas urbanas para reducir la vulnerabilidad a nuevas enfermedades.
- ✓ Mejora del abastecimiento de agua potable.
- ✓ Desarrollo y/o ejecución de planes urbanísticos que regulen la ocupación del suelo en función de los riesgos climáticos, especialmente de las inundaciones y la erosión.
- ✓ Creación de sistemas de alerta temprana en zonas urbanas ante el riesgo de inundaciones.
- ✓ Mejora de los sistemas de drenaje de los entornos urbanos de cara a reducir su vulnerabilidad ante inundaciones.

Sobre el SISTEMA DE SALUD:

- ✓ Mejora y/o mantenimiento de las infraestructuras de atención sanitaria para prevenir enfermedades relacionadas con factores climáticos.
- ✓ Desarrollo de sistemas de alerta temprana, particularmente para olas de calor e inundaciones.

Sobre las INSTITUCIONES:

- ✓ Mayor presencia de la participación de la ciudadanía, de las instituciones científicas y de las comunidades locales en la planificación y la gestión de recursos.
- ✓ Fortalecimiento de la capacidad institucional para proporcionar sistemas de alerta temprana sobre fenómenos hidrometeorológicos peligrosos.
- ✓ Integración de los objetivos de las estrategias ambientales nacionales en los planes sectoriales y regionales.
- ✓ Consolidación de comités directivos sobre cambio climático en cada territorio para garantizar la planificación y la asignación adecuada de recursos destinados a hacer frente al cambio climático.
- ✓ Mejora de los sistemas de supervisión sobre ejecución de planes y programas relacionados con la adaptación al cambio climático.
- ✓ Mejora de la coordinación institucional entre países y territorios.

Sobre la INVESTIGACIÓN DEL cambio climático:



- ✓ Implantación de una red común del monitoreo y modelación de los cambios proyectados en el nivel del mar y los oleajes de temporal, centrada particularmente en las regiones costeras más vulnerables.
- ✓ Mejora de la cobertura espacial de la red de estaciones para la recogida de datos y el monitoreo climático.
- ✓ Conocimiento de la costa a una resolución mayor, tanto de los aspectos naturales (régimen marino, geomorfología, etc.) como socioeconómicos (población, infraestructuras, etc.), que sirva de base para el desarrollo de planes de adaptación particularizados en relación a la vulnerabilidad específica de cada territorio.
- ✓ Incremento de la investigación para mejorar los modelos de previsión sobre cambio climático.
- ✓ Mejora de la publicación y distribución de pronósticos meteorológicos y climáticos.

REFERENCIAS

- AEMET (2012). Atlas climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores. Temperatura del aire y precipitación (1971-2000). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012.
- AEMET (2017). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. Amblar, M. P., Casado Calle, M. J., Pastor Saavedra, M. A., Ramos Calzado, P., & Rodríguez Camino, E.
- Ahmed, A., Yasuda, H., Hattori, K., & Nagasawa, R. (2008). Analysis of rainfall records (1923–2004) in Atar-Mauritania. *Geofizika*, 25(1), 53-64.
- Ramos, K. R. D. A. (2014). Mudanças climáticas e os desafios do setor dos recursos hídricos em Cabo Verde. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 5(1), 180-197.
- Beckley, B. D., Callahan, P. S., Hancock, D. W., Mitchum, G. T., & Ray, R. D. (2017). On the “call-mode” correction to TOPEX satellite altimetry and its effect on the global mean sea level time series. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122, 8371–8384.
- Bernardino, M., Rusu, L., Guedes-Soares, C. (2017). Evaluation of the wave energy resources in the Cape Verde Islands. *Renewable Energy* 101, 316-326.
- Cardós, C., Barrera, E., & Sanz, R. (2007). Un estudio sobre episodios de temperaturas extremas en Canarias. *Instituto Nacional de Meteorología (Ed.): Calendario Meteorológico*, 239-248.
- Chappell, A., & Agnew, C. T. (2004). Modelling climate change in West African Sahel rainfall (1931–90) as an artifact of changing station locations. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(5), 547-554.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioic, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Cropper, T. (2013). The weather and climate of Macaronesia: past, present and future. *Weather*, 68(11), 300-307.
- Cropper, T. E., & Hanna, E. (2014). An analysis of the climate of Macaronesia, 1865–2012. *International Journal of Climatology*, 34(3), 604-622. Cropper, 2013
- Cruz, M., Santos, F. D., Aguiar, R., Oliveira, R. P., Correia, A., Tavares, T., & Pereira, J. S. (2008). Impactos das alterações climáticas nos ecossistemas terrestres da ilha da madeira. In *CLIMA 2008-I Congresso Nacional Sobre Alterações Climáticas*.
- Daron, JD (2014) “Regional Climate Messages: West Africa”. Scientific report from the CARIIAA Adaptation at Scale in Semi-Arid Regions (ASSAR) Project, December 2014.
- DEEC (Direction de l’Environnement et des Etablissements Classées du Ministère de l’Environnement et du Développement Durable). 2015. Troisième Communication Nationale du Senegal: A la Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques, Senegal, 2015

- Diaw A. T., Fall B., Ndour A., 2016. Contribution Déterminée au niveau National (CDN) dans le cadre de la CCNUCC. Document de synthèse sur la zone côtière du Sénégal dans son volet Adaptation, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Senegal, 2016.
- Diouf B. M., 2017. Adaptation au changement climatique, Contributions Déterminées au niveau National : La Gestion des Inondations, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Senegal, 2017.
- Dorta, P., Díez, A. L., & Pacheco, J. D. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroccidental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 57(2), 27-52.
- Dorta, P (2007). Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenazas y vulnerabilidad. *Geographicalia*, (51), 133-160.
- López-Díez, A., Dorta, P., Febles, M., & Díaz Pacheco, J. (2016). Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: el caso de Canarias.
- Durand P., Anselme B., Thomas Y.F., 2013. L'impact de l'ouverture de la brèche dans la langue de Barbarie à Saint-Louis du Sénégal en 2003 : un changement de nature de l'ala inondation ?, *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 496, 2013.
- Proyecto, E. C. C. E. (2005). Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del cambio climático. *Ministerio de Medio Ambiente. Oficina Española de cambio climático (Ed.). Universidad de Castilla La Mancha*.
- Egis International. 2013. Etude économique et spatiale de la vulnérabilité et de l'adaptation des zones côtières aux changements climatiques au Sénégal. Rapport de synthèse. Version finale, 2013.
- Elittoral Estudios de Ingeniería Costera y Oceanográfica SLNE. 2019. Estudio de Impacto Ambiental del "Proyecto de la urbanización Casas de Majanicho – SAU 12 NNSS La Oliva.
- Elmoustapha, A. O., Levoy, F., Monfort, O., & Koutitonsky, V. G. (2007). A numerical forecast of shoreline evolution after harbour construction in Nouakchott, Mauritania. *Journal of Coastal Research*, 1409-1417.
- Expósito, F. J., González, A., Pérez, J. C., Díaz, J. P., & Taima, D. (2015). High-resolution future projections of temperature and precipitation in the Canary Islands. *Journal of Climate*, 28(19), 7846-7856.
- Fall, S., Niyogi, D., & Semazzi, F. H. (2006). Analysis of mean climate conditions in Senegal (1971–98). *Earth Interactions*, 10(5), 1-40.
- Fall, S., Semazzi, F. H., Niyogi, D. D. S., Anyah, R. O., & Bowden, J. (2006). The spatiotemporal climate variability over Senegal and its relationship to global climate. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(14), 2057-2076.
- Faye, C. (2018). Changement climatiques observés sur le littoral sénégalais (Région de Dakar) depuis 1960: Étude de la variabilité des tendances sur les températures et la pluviométrie. *Nature & Technology*, (20), 65-78.
- Fragoso, M., Trigo, R. M., Pinto, J. G., Lopes, S., Lopes, A., Ulbrich, S., & Magro, C. (2012). The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(3), 715-730.
- Frailé Jurado, P., Sánchez Rodríguez, E., Fernández Díaz, M., Pita López, M. F., & López Torres, J. M. (2014). Estimación del comportamiento futuro del nivel del mar en las Islas Canarias a partir del análisis de registros recientes. *Geographicalia*, 66, 79-98.
- García-Herrera, R., Gallego, D., Hernández, E., Gimeno, L., Ribera, P & Calvo, N. (2003). «Precipitation trends in the Canary Islands». *International Journal of Climatology*, 23 (2), 235–241.



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

- Garijo, C., Mediero, L., & Garrote, L. (2018). Utilidad de las proyecciones climáticas generadas por AEMET para estudios de impacto del cambio climático sobre avenidas a escala nacional. *Ingeniería del agua*, 22(3), 153-166.
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G. (2009). Addressing climate information needs at the regional level.
- Gordon, C., C. Cooper, C. Senior, H. Banks, J. Gregory, T. Johns, J. Mitchell and R. Wood, (2000). The simulation of SST, sea-ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Climate Dynamics* 16, 147.
- Guijarro, J. A., Conde Criado, J., Campins, J., Picornell, M. Á., & Orro, M. L. (2014). Tendencias de viento, oleaje y temperatura superficial en el Mediterráneo y Atlántico próximos a partir de datos de reanálisis. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A*; 9.
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34, 623–642.
- Hartley A., Rowell D., Janicot S., Guichard F., Macadam I., Taylor C., Parker D. J., (2016) Africa's Climate helping decision-makers makesense of climate information. A Century of Climate Change: 1950-2050, West Africa Regional Overview, Future Climate for Africa
- Hernández, S., Tarife, R., Gámiz, R., Castro, Y. y Esteban, M.J. (2012). «Estudio de las sequías en las Islas Canarias mediante el análisis de índices multiescales», En: Rodríguez, C.; Ceballos, A; González, N; Morán, E y Hernández, A. (Eds.): cambio climático. Extremos e impactos. Asociación Española de Climatología, Serie A, 8, 421-430.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Camino, E. R., Ruggeroni, J. R. P., & Hernández, F. H. (2014). Quinto informe de evaluación del IPCC: Bases físicas. *Revista Tiempo y Clima*, 5(43).
- IPCC, 2018. Calentamiento global de 1,5°C. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. Resumen para responsables de políticas.
- Koudahe, K., Djaman, K., Bodian, A., Irmak, S., Sall, M., Diop, L., & Rudnick, D. R. (2017). Trend analysis in rainfall, reference evapotranspiration and aridity index in Southern Senegal: Adaptation to the vulnerability of rainfed rice cultivation to climate change. *Atmospheric and Climate Sciences*, 7(04), 476.
- Lacerda, F. F., Nobre, P., Sobral, M. C., Lopes, G. M. B., Chou, S. C., Assad, E. D., & Brito, E. (2015). Long-term temperature and rainfall trends over Northeast Brazil and Cape Verde. *Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Legates, D. R., & Willmott, C. J. (1990). Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation. *International Journal of Climatology*, 10(2), 111–127.
- López Díez, A., Dorta, P., Febles, M., & Díaz Pacheco, J. (2016). Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: el caso de Canarias.
- Luque, A., Martín, J. L., Dorta, P., & Mayer, P. (2013). Temperature trends on Gran Canaria (Canary Islands). An example of global warming over the subtropical Northeastern Atlantic. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014.
- Ly M, Traore, S. B., Alhassane, A., & Sarr, B. (2013). Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel. *Weather and climate extremes*, 1, 19-25.



- Mahé, G., & Paturol, J. E. (2009). 1896–2006 Sahelian annual rainfall variability and runoff increase of Sahelian Rivers. *Comptes Rendus Geoscience*, 341(7), 538-546.
- Martín, J. L., Bethencourt, J., & Cuevas-Agulló, E. (2012). Assessment of global warming on the island of Tenerife, Canary Islands (Spain). Trends in minimum, maximum and mean temperatures since 1944. *Climatic Change*, 114(2), 343-355.
- Martins, B., & Rebelo, F. (2009). Erosão e paisagem em São Vicente e Santo Antão (Cabo Verde): o risco de desertificação. *Territorium*, (16), 69-78.
- Marzol, M. V., Yanes, A., Romero, C., Brito de Azevedo, E., Prada, S., & Martins, A. (2006). Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde). *Clinzn, Sociedad*, 443-452
- Máyer, P.; Marzol, M.V. y Parreño, J.M. (2015). «Tendencias de la precipitación en Canarias», En: M^{ra}. C. Cabrera, T. Cruz-Fuentes, V. Mendoza-Grimón y M^{ra} P. Palacios-Díaz (Eds.). *Aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas (II Workshop)*. Instituto Geológico y Minero de España y Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Las Palmas de Gran Canaria., 223-230.
- Máyer P; Marzol, M.V. & Parreño, J.M. (2017). «Precipitation trends and daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain)», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43.
- Mayer, P. y Marzol. M. V. (2014). «Daily precipitation concentration and the rainy spells in the Canary Islands: two risk factors» .*Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 65, 231-247.
- Mcsweeney, C., New, M., Lizcano, G., & Lu, X. (2010). The UNDP Climate Change Country Profiles: Improving the accessibility of observed and projected climate information for studies of climate change in developing countries. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(2), 157-166.
- Medina, R., Losada, I. J., Méndez, F. J., Olabarrieta, M., Liste, M., Menéndez, M., & Luceño, A. (2004). Impacto en la costa española por efecto del cambio climático. Oficina Española de cambio climático–Dirección General de Costas (Ministerio de Medio Ambiente), 3.
- MEPN (Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature), Plan d'Action National pour l'Adaptation aux Changements Climatiques, Senegal, 2006.
- Moreno, J. M. (2006). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. *Boletín CF+ S*, (38/39), 37-56.
- Niang, I., O.C. Ruppel, M.A. Abdrabo, A. Essel, C. Lennard, J. Padgham, and P. Urquhart, 2014: Africa. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, 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, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1199-1265.
- Novella, N. S., & Thiaw, W. M. (2013). African rainfall climatology version 2 for famine early warning systems. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52, 588–606.
- Perrette M., Landerer F., Riva R., Frieler K. and Meinshausen M., A scaling approach to project regional sea level rise and its uncertainties, *Earth Syst. Dynam. Discuss.*, 3, 357–389, 2012.
- Sanroma, E., Palle, E. & Sánchez-Lorenzo, A. (2010). «Long-term changes in insolation and temperatures at different altitudes». *Environmental Research Letters*, 5.



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

- Santos, F. D., Valente, M. A., Miranda, P. M. A., Aguiar, A., Azevedo, E. B., Tomé, A. R., & Coelho, F. (2004). Climate change scenarios in the Azores and Madeira islands. *World Resource Review*, 16(4), 473-491.
- Sperling, F.N., Washington, R & Whittaker, R.J. (2004). «Future climate change of the subtropical North Atlantic: implications for the cloud forests of Tenerife», *Climatic Change*, 65, 103-123.
- Sylla, M. B., Nikiema, P. M., Gibba, P., Kebe, I., & Klutse, N. A. B. (2016). Climate change over West Africa: Recent trends and future projections. In *Adaptation to climate change and variability in rural West Africa* (pp. 25-40). Springer, Cham.
- Tall, M., Sylla, M. B., Diallo, I., Pal, J. S., Faye, A., Mbaye, M. L., & Gaye, A. T. (2017). Projected impact of climate change in the hydroclimatology of Senegal with a focus over the Lake of Guiers for the twenty-first century. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(1-2), 655-665.
- Tarife Méndez, R., Hernández Barrera, S., Gámiz-Fortis, S.R., Castro-Díez, Y. Esteban-Parra, Ma.J. (2012). Análisis de los extremos pluviométricos en las islas Canarias y su relación con el índice NAO. VIII Congreso Internacional AEC. Salamanca
- Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl MA. (2012). An overview of the CMIP5 and the experimental design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93: 485–498.
- UEMOA (2017) West Africa coastal areas. General Document, Assessment 2016, UEMOA, MO-LOA.
- USAID (2018). Climate Risk Profile West Africa. Fact Sheet, United States Agency for International Development.
- WACA (West African Coastal Areas Management Program). The Effects of Climate Change on Coastal Erosion in West Africa, Knowledge Sheet 6, World Group Bank, 2016
- Veiga Pereira, J. M., da Veiga Pereira, A. C., Victória, S. M. D. M. S., de Oliveira, V. P. V., & Rocha, H. S. (2018) Evidências das mudanças climáticas em cabo verde e seus impactos sobre alguns sectores. REDE, Revista Electrónica.
- WMO (2016). The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2016. WMO GREENHOUSE GAS BULLETIN
- Wong, P.P., I.J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K.L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger, (2014). Coastal systems and low-lying areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., 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, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 361-409.
- Wu, W. (2006). Coastline evolution monitoring and estimation—a case study in the region of Nouakchott, Mauritania. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5461-5484.
- Yacoub, E., & Tayfur, G. (2019). Trend analysis of temperature and precipitation in Trarza region of Mauritania. *Journal of Water and Climate Change*, 10(3), 484-493.

Recursos WEB:

CCKP. Climate Change Knowledge Portal for Development Practitioner and Policy Makers. The World Bank Group.
<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm>



MAC 2014-2020
Cooperación Territorial



MACCLIMA

IH-Cantabria. Visor geográfico del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

<http://www.c3e.ihcantabria.com/>

AEMET. Servicio de consulta de proyecciones climáticas regionalizadas.

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/