



Universidad
de La Laguna

Escuela de Doctorado
y Estudios de Posgrado

TÍTULO DE LA TESIS DOCTORAL

Cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos en la Macaronesia. Evaluación, adaptación y resiliencia

AUTOR/A

Abel

López

Díez

DIRECTOR/A

Pedro Javier

Dorta

Antequera

CODIRECTOR/A

Jaime Salvador

Díaz

Pacheco

DEPARTAMENTO O INSTITUTO UNIVERSITARIO

FECHA DE LECTURA

09/09/20

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Facultad de Economía, Empresa y Turismo. Sección de Ciencias
Económicas y Empresariales

Doctorado en Desarrollo Regional



TESIS DOCTORAL

Cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos en la
Macaronesia.
Evaluación, adaptación y resiliencia.

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Abel López Díez

DIRECTORES

Pedro Dorta Antequera

Jaime Díaz Pacheco

Tenerife, 2020

Abel López Díez

**Cambio climático y fenómenos
meteorológicos extremos en la Macaronesia.
Evaluación, adaptación y resiliencia.**

**“No nos atañe a nosotros
dominar todas las mareas del mundo,
sino hacer lo que está en nuestras manos
por el bien de los días que nos ha tocado vivir”**

-J.R.R Tolkien

RESUMEN

La Macaronesia constituye una región de gran interés desde una perspectiva climática. En este trabajo quedará patente que tanto la región macaronésica, como el archipiélago canario en particular, manifiestan ya síntomas evidentes del cambio climático; el aumento de la temperatura, la variación en las precipitaciones, la subida del nivel del mar o la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos son sólo algunas de las expresiones que se constatan en este sector del Atlántico Norte Suroriental. Además, es ampliamente conocido como los territorios insulares por sus características ambientales y socioeconómicas son espacios vulnerables, más aún cuando como es el caso de los archipiélagos macaronésicos y especialmente las Islas Canarias presentan una alta dependencia económica del sector turístico. Un sector, además, que debido al rápido desarrollo de las áreas costeras durante las últimas décadas ha incrementado su exposición frente a determinadas amenazas de origen climático.

En este contexto se hace necesario impulsar acciones como la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) y la adaptación frente al cambio climático que minimice las vulnerabilidades de los territorios. A este respecto la evaluación del riesgo se muestra como una acción fundamental a implantar. Los resultados obtenidos en esta investigación, ejemplifican la capacidad de esta herramienta para diferenciar y estudiar de forma pormenorizada cada uno de los elementos que integran el riesgo (amenaza, exposición y vulnerabilidad). Asimismo, es a nivel local donde estas evaluaciones presentan su óptima escala de aplicación, pues permiten analizar todos los procesos que conforman la complejidad del riesgo y, del mismo modo, favorecen procesos paralelos como los participativos.

En este trabajo se estudia, en primer lugar, una contextualización del cambio climático en la Macaronesia con especial énfasis en el análisis de los fenómenos meteorológicos extremos. Al mismo tiempo, el presente documento proporciona una metodología para capturar los factores que integran el riesgo para uno de los principales de ellos en la Macaronesia, las inundaciones. Una metodología aplicada en municipios con una clara vocación turística del litoral canario y diseñada para probar la efectividad de ésta como política de adaptación para reducir los posibles desastres de origen climático, metodología planteada como un ensayo para posibles aplicaciones en territorios con rasgos físicos y socioeconómicos similares.

ABSTRACT

Macaronesia is a region of great interest from a climatic perspective. In this work, it will be clear that both the Macaronesian region, and the Canary Islands already show obvious signs of climate change; the increase in temperature, the variation in rainfall, the rise in sea level or the intensification of extreme meteorological phenomena are just some of the manifestations found in the Southeast region of the North Atlantic Ocean. In addition, it is widely known as the island territories for their environmental and socioeconomic characteristics are vulnerable spaces, even more so as in the case of the Macaronesian archipelagos and especially the Canary Islands have a high economic dependence on the tourism sector. Furthermore, a sector that due to the rapid development of coastal areas in recent decades has increased its exposure to certain hazards of climatic origin.

In this context, it is necessary to promote actions such as Disaster Risk Reduction (DRR) and adaptation to climate change that reduce the vulnerabilities of the territories. In this regard, risk assessment is shown as a fundamental action to implement. The results obtained in this research exemplify the ability of this tool to differentiate and study in detail each of the elements that make up the risk (hazard, exposure and vulnerability). Likewise, it is at the local level where these evaluations present their optimal scale of application, since they allow analyzing all the processes that make up the complexity of the risk and, in the same way, they favor parallel processes such as participatory ones.

In this work, firstly, a contextualization of climate change in Macaronesia is studied with special emphasis on the analysis of extreme meteorological phenomena. At the same time, this document provides a methodology to capture the factors that make up the risk for one of the main ones in Macaronesia, floods. A methodology applied in municipalities with a clear tourist vocation of the Canary coast and designed to test its effectiveness as an adaptation policy to reduce possible disasters of climatic origin, a methodology proposed as a test for possible applications in territories with similar physical and socioeconomic features.

AGRADECIMIENTOS

Escribo estas líneas sentado en el aeropuerto de Boston a pocas horas de poner fin a una importante etapa donde se fraguó parte de este documento. Una etapa que inicié con miedos e incertidumbres pero que sin duda alguna fue la que más me ha hecho crecer como persona e investigador en estos últimos años. Pensar que realizar una tesis doctoral es un acto individual resultaría egoísta y pretencioso a la par que osado, una investigación como la presente es el resultado de muchas aportaciones directas e indirectas, de personas que he conocido y de algunas otras que sin saberlo a través de sus trabajos han conformado parte de estas páginas.

Siempre creí que no hay casualidades sino destinos y que no se encuentra sino lo que se busca, y se busca lo que en cierto modo está escondido en lo más profundo de nuestro corazón. Razón por la cual uno termina por encontrarse al final con las personas que debe encontrar. Uno de mis escritores favoritos el japonés Murakami citaba que “La capacidad de creer plenamente en otro es uno de los valores más bellos del ser humano”, y estas palabras de agradecimiento van a todas las personas que han creído en mí durante estos años de trabajo.

En primer lugar, hay que mencionar que esta investigación se ha podido desarrollar gracias al programa de ayudas predoctorales para Formación del Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación y Ciencia para la convocatoria (2015-2019). Una ayuda que fue cumplimentada con el programa de becas ECUSA-ULL (2019) para la realización de una estancia internacional. Asimismo, parte de los trabajos de esta tesis se han enmarcado en los proyectos de investigación Alert4you (Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER-Código MC/3.5/154) e INTUCAN (PROID2017010027) del Gobierno de Canarias.

Quizás esta tesis comenzó mucho antes de estar planteada allá por el año 2014 cuando un proyecto me conectó con mis directores, los doctores Pedro Dorta Antequera y Jaime Díaz Pacheco. Era el comienzo de algo que nos unió sin esperarlo y sin avisar. Seis años de trabajo continuo que dio lugar a la creación de nuestra cátedra universitaria “Reducción del Riesgo de Desastres y Ciudades Resilientes” y a consolidar nuestro grupo de investigación GEORIESGOS. Unos años de compartir vida universitaria y profesional a través de un sinfín de

proyectos de investigación, actividades de divulgación, cursos formativos, etc. Sin duda esta tesis es parte de todo este trabajo realizado. Cuando leas estas líneas Pedro quiero decirte gracias. Gracias por haberme formado, gracias por confiar en mí desde el primer momento, por darme esa libertad necesaria e imprescindible para crecer como investigador. Gracias por todos los consejos, por el apoyo y generosidad recibida en todas las publicaciones que conforman esta tesis. Gracias por ser un modelo a seguir y haberte consolidado como mi referente académico. A ti Jaime, gracias por guiarme todos estos años, por la cantidad de horas invertidas en diseñar toda la estrategia de una tesis por compendio de publicaciones, gracias por enseñarme a ser mejor científico y más importante aún, a ser mejor persona. Sin duda, me siento muy afortunado de haber compartido con ustedes dos tantos momentos y experiencias en estos últimos años y sé que aún nos queda mucho camino por delante. En definitiva, GRACIAS a los dos por ser los mejores directores que he podido tener, vuestra calidad investigadora tan sólo se ve superada por vuestra calidad humana.

También es necesario agradecer a mi Departamento de Geografía e Historia y en especial a la UDI de Geografía, por los medios facilitados para hacer esta tesis, así como la magnífica formación recibida durante la realización de mi licenciatura en geografía. Del mismo modo quería agradecer al profesorado del Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales de la Universidad de Alicante la excepcional formación recibida, gran parte de ella aplicada en esta tesis. Gracias especialmente a los doctores Jorge Olcina, Enrique Montón, Pablo Giménez Font y Juan Antonio Marco Molina por hacerme crecer como geógrafo.

Al Dr. Richard Palmer director del Northeast Climate Adaptation Science Center (NECASC) de la Universidad de Massachusetts por su acogida en su centro de investigación. Una etapa donde sus recomendaciones ayudaron a mejorar algunos de los trabajos de esta tesis. Asimismo, a todos mis compañeros de oficina por su hospitalidad y los fabulosos viernes de “*social hour*”, mil gracias a Elizabeth, Sarah, Marcia, Andrew, Alex y Junqi.

A mis abuelos Luis e Inés, porque hay personas que marcaron nuestra forma de ser y que nunca dejarán de estar con nosotros, nunca os olvidaré. A mis padres Antonio y Mercedes ejemplos de luchadores incansables. Gracias por todo el esfuerzo y sacrificio realizado durante tantos años que ha permitido que haya ido

alcanzando mis sueños, nunca es fácil salir de un pequeño pueblo de Extremadura con el objetivo de buscar un mejor futuro.

A mis amigos Fran, Irene, Howard, David y Jorge, el mundo siempre será mejor compartido, gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado en innumerables planes alrededor de buena comida y cervezas, saboreando mil y un platos diferentes. Ustedes sí se merecen las tres estrellas Michelin.

A Sara, decía Julio Cortázar que “todos los mapas mienten salvo el del corazón” y es verdad. Gracias por acompañarme en este largo camino, por comprender las ausencias y por ser uno de los motivos para seguir adelante. Gracias por estar ahí cuando me daba igual todo, cuando no sabía qué hacer, cuando necesitaba un quién y siempre estabas tú.

Es difícil nombrar a todas las personas que en algún momento se han cruzado en la realización de este trabajo y, en ocasiones, han contribuido a parte del aprendizaje de esta investigación. Pero no quiero acabar sin unas palabras a los compañeros de mi cátedra, Constantino Criado (Tino), Carmen Romero (Kika), José Ángel, Daniella y Raquel; múltiples colegas investigadores, amigos del curso en “Reducción del Riesgo de Desastres y Desarrollo Sostenible” de la Organización internacional del Trabajo (OIT) y en especial a María José Mallo su directora; a Paula por su ayuda y consejos en la realización de la estancia en Estados Unidos así como por la revisión de los textos en inglés de esta investigación; a todos los medios de comunicación que se han interesado en divulgar parte de los resultados de los trabajos de esta tesis con especial mención para Verónica Pavés por creer en la ciencia y en la labor de mi grupo; a todos aquellos que he tenido el placer de impartirles clase durante estos años, y a muchos otros que han compartido conmigo esta bonita aventura.

GRACIAS

Boston a 20 de diciembre de 2019

**“El riesgo se mueve de forma inversa
al conocimiento”**

-Irving Fisher

CONTENIDO

BLOQUE I. INTRODUCTORIO, TEÓRICO Y METODOLÓGICO	23
I.1. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
I.1.1. Bloque introductorio, teórico y metodológico.....	24
I.1.2. Bloque central con desarrollo de publicaciones científicas.....	24
I.1.3. Bloque final de conclusiones.....	25
I.2. INTRODUCCIÓN.....	25
I.2.1. Presentación.....	25
I.2.2. Interés científico.....	29
I.2.3. Interés social.....	31
I.3. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	34
I.3.1. Objetivo general.....	34
I.3.2. Objetivos específicos.....	34
I.3.3. Preguntas de investigación.....	36
I.4. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
I.4.1. Calentamiento global, cambio climático y cambio global en la Macaronesia.....	41
I.4.1.1. Aspectos y conceptos generales.....	41
I.4.1.2. Evolución de los estudios climáticos en la Macaronesia	47
I.4.1.3. El cambio de paradigma de la mitigación a la adaptación.....	53
I.4.2. Fenómenos meteorológicos extremos en espacios insulares turísticos.....	60
I.4.2.1. Cambio climático en espacios insulares.....	60
I.4.2.2. Clima, turismo y cambio climático.....	62
I.4.2.3. Reducción del riesgo de desastres, adaptación y turismo.....	66
I.4.3. La evaluación del riesgo como herramienta fundamental para desarrollar procesos de adaptación al cambio climático.....	68
I.5. PRESENTACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO	77
I.5.1. La región macaronésica, islas-laboratorio para el estudio del cambio climático	77
I.5.2. El riesgo de desastres en la Macaronesia	84
I.5.3. Los archipiélagos macaronésicos como actuales potencias turísticas.....	95
I.6. METODOLOGÍA Y FUENTES	104
I.6.1. Metodología.....	104
I.6.1.1. Primera etapa: Ideas iniciales y etapa de exploración.....	106

I.6.1.2. Segunda etapa: Planteamiento de objetivos y preguntas de investigación	107
I.6.1.3. Tercera etapa: Desarrollo de los trabajos, discusión y resultados.....	109
I.6.1.4. Cuarta etapa: Conclusiones.....	118
I.6.2. Fuentes.....	118
BLOQUE II. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.....	121
II.1. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.....	122
II.1.1. El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental.	129
II.1.2. Precipitaciones estivales en Canarias.....	156
II.1.3. Turismo y amenazas de origen natural en la Macaronesia. Análisis Comparado.....	158
II.1.4. Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain).....	191
II.1.5. Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: Temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016).....	212
II.1.6. Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife).....	224
II.1.7. Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias.....	245
II.1.8. La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático	256
II.1.9. La evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos.....	267
BLOQUE III. CONCLUSIONES.....	301
III.1. CONCLUSIONES	302
III.1.1. Conclusiones respecto a las preguntas de investigación.....	302
III.1.2. Conclusión general.....	325
III.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	326
III.3. CONCLUSIONS	328
III.3.1. Conclusions on research questions	328
III.3.2. General conclusion.....	350
III.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	351

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del sistema climático	44
Figura 2. Evolución de la concentración de CO ₂ atmosférico en los observatorios de Izaña (Islas Canarias) y Mauna Loa (Hawaii), 1994-2018.	45
Figura 3. Expresiones usuales en el estudio del cambio climático.	46
Figura 4. Principales cumbres e hitos en materia de adaptación.....	56
Figura 5. Ejemplo de sistema complejo urbano aplicado a la RRD.....	70
Figura 6. Análisis, estimación valoración y evaluación del riesgo	72
Figura 7. Evaluación de los riesgos derivados del Cambio Climático	72
Figura 8. La reducción del riesgo a través del tiempo	74
Figura 9. Integración de la RRD en el marco de la adaptación al cambio climático	76
Figura 10. Localización de los archipiélagos de la Macaronesia.....	78
Figura 11. Localización de las erupciones volcánicas históricas en los archipiélagos de la Macaronesia	85
Figura 12. Episodio de inundación del 1 de febrero en Funchal, Madeira	87
Figura 13. Trayectoria y efectos de la tormenta tropical Delta, 2005	89
Figura 14. Incendios de 2007 (Islas Canarias) y 2016 (Madeira).....	92
Figura 15. Episodio de calima del 23 de febrero de 2020 en Canarias.....	94
Figura 16. Principales espacios de reconocimiento internacional por su valor natural o artístico y cultural (Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera, Patrimonios de la Humanidad).....	98
Figura 17. Localización de los principales sectores de alojamiento en las islas de la Macaronesia.....	99
Figura 18. Localización de las zonas de estudio en las islas de Tenerife y Gran Canaria.....	103
Figura 19. Los 20 municipios españoles con mayor oferta de camas hoteleras (2018).....	103
Figura 20. Primera etapa de la investigación. Ideas iniciales y exploración.....	106
Figura 21. Segunda etapa de la investigación. Planteamiento de objetivos y preguntas de investigación.....	108
Figura 22. Proceso para evaluar los riesgos derivados del cambio climático a escala local.....	112
Figura 23. Relación entre las publicaciones y los objetivos de la tesis.	123

Índice de tablas

Tabla 1. Principales características de la mitigación y adaptación.....	58
Tabla 2. Relaciones entre turismo y cambio climático	63
Tabla 3. Principales rasgos geográficos de las islas macaronésicas.....	79
Tabla 4. Pluviosidad media en la Macaronesia, 1980-2019.....	81
Tabla 5. Principales episodios de precipitación con efecto de inundación en la Macaronesia	88
Tabla 6. Principales temporales de viento en Canarias.....	90
Tabla 7. Algunos de los principales temporales costeros en Canarias.....	91
Tabla 8. Algunas de las principales olas de calor en Canarias	93
Tabla 9. Calendario aproximado de riesgos climáticos en la Macaronesia.....	95
Tabla 10. Total de turistas por archipiélago en 2019	97
Tabla 11. Lugares más visitados (sin categoría reconocida a escala internacional) y de mayor interés según el portal de turismo TripAdvisor en 2019.....	100
Tabla 12. Publicaciones de la 1ª Fase	113
Tabla 13. Publicaciones de la 2ª Fase	114
Tabla 14. Publicaciones de la 3ª Fase	115
Tabla 15. Publicaciones de la 4ª Fase	118
Tabla 16. Publicaciones del Bloque II.....	122

Listado de acrónimos

- ACC:** Audiencia de Cuentas de Canarias
AEC: Asociación Española de Climatología
AEMET: Agencia Estatal de Meteorología
AGE: Asociación Española de Geografía
BBDD: Base de datos
CCS: Consorcio de Compensación de Seguros
CMNUCC: Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COP: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
ECCC: Estrategia Canaria de Lucha Contra el Cambio Climático
ELRP: Evaluación Local de Riesgos Participativa
EM-DAT: Emergency Events Database
GAR: Informe de Evaluación Global sobre Reducción del Riesgo de Desastres
GEI: Gases de Efecto Invernadero
IBRD: Banco Mundial
IGN: Instituto Geográfico Nacional
INE: Instituto Nacional de Estadística de España
INE.CV: Instituto Nacional de Estadística de Cabo Verde
INE.PT: Instituto Nacional de Estadística de Portugal
IPCC: Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
IPMA: Instituto Português do Mar e da Atmosfera
ISTAC: Instituto Canario de Estadística
JCR: Journal Citation Reports
MAPAMA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
PIB: Producto Interior Bruto
PNACC: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de España
RRD: Reducción del Riesgo de Desastres
SJR: Scientific Journal Rankings
SITCAN: Sistema de Información Territorial de Canarias
SREA: Servicio de Estadísticas de Azores
UNDRR: Oficina para la Reducción del Riesgo de Desastres de Naciones Unidas
UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
ZCIT: Zona de Convergencia Intertropical

**BLOQUE I. INTRODUCTORIO, TEÓRICO Y
METODOLÓGICO**

I.1. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis doctoral se articula o estructura en **tres bloques temáticos**: 1) Bloque introductorio, teórico y metodológico; 2) Bloque central en formato de artículos científicos; y 3) Bloque final de conclusiones.

I.1.1. Bloque introductorio, teórico y metodológico

Los contenidos de este primer bloque se desarrollan y organizan a partir de una introducción general al trabajo que se ve completada por dos apartados que definen el interés social y científico de esta tesis. A continuación, se exponen en el apartado 3, los objetivos tanto generales como específicos y las preguntas de investigación. Una vez planteados los objetivos y las preguntas de investigación, se desarrolla el fondo teórico de la investigación cuyos ejes vertebradores son: “El Calentamiento Global, Cambio Climático y Cambio Global en la Macaronesia”; “Los Fenómenos meteorológicos extremos en espacios insulares turísticos” y finalmente “La evaluación local del riesgo como herramienta fundamental para desarrollar procesos de adaptación al cambio climático”. Por último, forman también parte de este bloque, la presentación del área de estudio, la Macaronesia, y por supuesto, la explicación de la metodología seguida para el logro de esta tesis doctoral, así como las fuentes más importantes empleadas en la presente investigación.

I.1.2. Bloque central con desarrollo de publicaciones científicas

El bloque II conforma el eje de la investigación de esta tesis doctoral y está conformado por 9 publicaciones de carácter científico, un total de 5 artículos y 4 comunicaciones a congresos de ámbito nacional e internacional. Todos estos trabajos se encuentran relacionados con la consecución del objetivo principal de la investigación y su presencia en la tesis está vinculada a su vez, con el logro de los objetivos específicos que han sido planteados.

A efectos normativos, la inclusión de estos trabajos científicos en los que participa el autor, se adapta a las exigencias académicas vigentes en el Programa de Doctorado en Desarrollo Regional de la Universidad de La Laguna. En este caso para la modalidad de tesis por compendio de publicaciones, exigiendo un mínimo de tres artículos de carácter científico. Todos los trabajos presentados

están firmados en primer lugar o, en su defecto, en segundo lugar por el doctorando, y 8 de ellos están ya publicados, 4 en revistas de impacto y el último trabajo enviado y aceptado para revisión. Este bloque también incluye un apartado donde se describen brevemente los artículos y sus contenidos, con relación a las preguntas de investigación y objetivos definidos.

I.1.3. Bloque final de conclusiones

Finalmente se presenta un bloque de conclusiones sobre la presente investigación, intentando aunar y sintetizar las conclusiones extraídas de los diferentes trabajos que conforman el bloque II. Además, se desarrollan, a modo de reflexión, algunos aspectos de interés, tanto científico como social, que se pueden extraer del presente estudio, así como de próximas o futuras líneas de trabajo o investigación.

I.2. INTRODUCCIÓN

I.2.1. Presentación

Las evidencias científicas que constatan el calentamiento global son, cada vez más abrumadoras, basta con hacer una simple referencia al aumento de la medida estadística de la temperatura. Sirvan como ejemplo los meses de junio, julio y septiembre del año 2019, los cuales han sido los más calurosos, a escala global, desde que existen registros, situándose este año como el segundo más cálido¹, por detrás solo de 2016. Datos como estos se van sumando cada día para certificar las conclusiones extraídas por los cinco informes del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) publicados desde 1990 donde, además, se pone de manifiesto cómo la actividad humana es la principal responsable (IPCC, 2013; Cook *et al.*, 2013; Friedlingstein *et al.*, 2014; Haustein *et al.*, 2019). En este contexto de calentamiento global, cuya máxima expresión es el cambio climático, se han desarrollado multitud de trabajos científicos que han abordado la modelización climática, desde diferentes escalas de análisis. Al principio estas investigaciones tenían un carácter más global pero paulatinamente han ido ampliando su escala de análisis, para abordar situaciones regionales. No obstante, escalas de mayor detalle y estudios locales necesitan aún ser mejorados.

¹ La temperatura de 2019 fue casi 0,6° C más cálida que la media del periodo comprendido entre 1981 y 2010. Fuente: Servicio de Cambio Climático de Copérnico (C3S).

Los territorios insulares forman parte de este conjunto de pequeñas regiones que precisamente requieren de estos análisis de mayor detalle, ya que probablemente sean los que primero y más se verán afectados por los efectos del cambio climático (IPCC, 2014a; Petzold *et al.*, 2015; Albert *et al.*, 2016). A este respecto, esta tesis doctoral se acerca, desde una óptica geográfica y desde el fondo que le proporcionan las ciencias sociales, a ampliar la escala de análisis dentro del contexto del cambio climático y sobre una región bioclimática del globo, como lo es la Macaronesia, un área formada por los archipiélagos de Azores, Madeira, Islas Salvajes², Canarias y Cabo Verde.

La Macaronesia es una región que, debido a su complejidad geográfica, hace muy necesario comprobar y validar con datos provenientes de estaciones meteorológicas locales lo que se infiere de los modelos regionales. Esta investigación constata un aumento térmico generalizado a través del estudio y el contraste de diversas publicaciones y de nuevos análisis numéricos propios. Respecto a las precipitaciones, aunque su alta irregularidad hace más difícil su modelización, este trabajo da cuenta de cambios que se están produciendo, aunque muy levemente, en los patrones pluviométricos, fundamentalmente vinculados a una mayor concentración y una ligera disminución de los totales anuales. Además, se observan cambios en otras variables de gran importancia relacionadas con el clima, como las alteraciones en el nivel del mar o en la humedad.

Aún así, los fenómenos meteorológicos extremos no son algo nuevo para los archipiélagos macaronésicos, sirva de referencia el caso la tormenta de 1826 en Canarias (Bethencourt y Dorta, 2010) o las intensas lluvias de 1983 en la isla de Santiago en Cabo Verde (Dorta *et al.*, 2020). Además, en las últimas décadas se han producido una serie de eventos con graves consecuencias, tanto en lo que respecta a víctimas como a pérdidas económicas (López *et al.*, 2018). Muchos de estos fenómenos pueden estar relacionados de manera directa con el propio cambio climático, cuyos efectos están relacionados tanto con el incremento de la frecuencia como con la peligrosidad de los mismos. Un ejemplo de ello puede ser el gran incendio forestal de Gran Canaria de agosto de 2019, los intensos episodios de calima de febrero de 2020, o el aumento de fenómenos inestables de origen tropical en las últimas décadas para la región macaronésica como son el caso de

² Aunque conforman un archipiélago propio, administrativamente depende de la Región Autónoma de Madeira.

Otto (2010), Gordon y Nadine (2012), Alex (2016), Leslie (2018), Lorenzo (2019) o Pablo (2019).

Todo ello, da lugar a que trabajos que aborden territorios insulares en el contexto del cambio climático, como es el caso de la presente tesis doctoral, tengan un gran interés como laboratorio para desarrollar acciones de mitigación y adaptación, así como el fomento de la resiliencia y capacidad adaptativa (Tomé, *et al.*, 2014; Petzold y Ratter, 2015). Las islas constituyen espacios de alta biodiversidad para analizar los efectos del cambio climático; además, sus economías a menudo se apoyan en sectores productivos muy frágiles, como el turismo, lo que hace que presenten una fuerte dependencia del exterior. Los archipiélagos de la Macaronesia son un buen ejemplo de ello, ya que mantienen un modelo económico fundamentado en el turismo, representando un porcentaje del PIB muy importante, entre el 20% en el caso de Cabo Verde y el 34% en las Islas Canarias (Dorta *et al.*, 2020). Son un magnífico modelo de espacios altamente explotados desde una perspectiva turística y especialmente vulnerables frente al cambio climático. La gran presión de flujos turísticos no sólo da lugar a un gasto energético más alto que en otros territorios continentales, sino que, dada la ocupación de suelo, también se ve aumentada la exposición frente a los peligros naturales, como los fenómenos meteorológicos extremos, incrementando así la población en riesgo. Además, la peligrosidad de determinadas amenazas climáticas, como se empieza a evidenciar, puede acrecentarse en los próximos años como consecuencia del cambio climático, afectando de forma muy directa a la mencionada actividad turística (Olcina y Rebollo, 2016). Este sector económico tiene tanta relevancia, que en regiones como las Islas Canarias el 40% del empleo está vinculado directamente a ello (Exceltur, 2016), lo que hace que la estructura socioeconómica sea muy vulnerable al cambio climático y a las alteraciones que este fenómeno puede suponer para las islas. En ese sentido, cada vez son más las publicaciones que relacionan turismo y cambio climático (Olcina, 2012; Scott *et al.*, 2016b; Scott *et al.*, 2019; Jarratt y Davies, 2019) así como la necesidad urgente de esta actividad de adaptarse.

La adaptación al cambio climático puede ser abordada desde diferentes perspectivas y en diferentes contextos. Uno de ellos es la aproximación a los tipos de amenazas climáticas, en lo que se refiere a los cambios observados o esperados en el comportamiento “normal” del clima, la variabilidad climática y los

ambientes extremos (Füssel, 2007; Díaz-Pacheco *et al.*, 2017). Este mismo enfoque tiene gran similitud con el que se desprende del último informe del IPCC (2014a) o el de la Guía para la Elaboración de Planes Locales de Adaptación (2015) del actual Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, unos trabajos donde se enmarca la adaptación en torno al concepto del riesgo de desastres.

En definitiva, lo que se sugiere es la idea de desarrollar procesos de adaptación en torno a la estimación de los impactos de determinados fenómenos de origen natural vinculados al cambio climático (Smith *et al.*, 1999). Esta perspectiva convierte la evaluación del riesgo en una herramienta de adaptación esencial, sobre todo a escala local. Su aplicación, resulta, además, de gran interés sobre espacios altamente vulnerables como los mencionados territorios insulares y, de manera muy específica, los espacios litorales turísticos.

En este trabajo, cuyos objetivos generales y específicos se tratarán en próximos apartados, se evalúa la magnitud del cambio climático en los archipiélagos que conforman la región de la Macaronesia. Para ello, se ha realizado una labor de recopilación de datos y publicaciones científicas referentes a la temática central de esta investigación, identificando así las principales manifestaciones del calentamiento global para la región y los principales fenómenos meteorológicos de carácter extremo acontecidos, además de aportar nuevos resultados científicos que pretenden servir de apoyo para los procesos de adaptación.

Todo lo tratado con respecto a los fenómenos naturales que pueden verse afectados por el cambio climático en los territorios insulares macaronésicos se ha relacionado con una de las actividades más susceptibles a la actual crisis climática, el turismo. Para ello, se ha desarrollado una contextualización general del mismo para todos los archipiélagos (evolución, estacionalidad, distribución, etc.) así como una identificación de las principales amenazas y fenómenos extremos a los que está expuesta dicha actividad. Posteriormente, con el objetivo de ampliar la escala de análisis, se ha trabajado sobre la evaluación del riesgo de inundación, en un área litoral de la costa de Tenerife, un modelo cuyo principal objetivo es identificar a una escala-resolución de parcela catastral tanto la amenaza, como la exposición, como la vulnerabilidad, así como su producto final, el riesgo. Un riesgo que se ha evaluado para una de las principales amenazas del calentamiento global para nuestra región, las precipitaciones intensas con efecto de inundación. Además, en relación con esta evaluación local se ha desarrollado

y ensayado una metodología participativa que pueda aplicarse integrando a los diferentes agentes que conforman un territorio. Este modelo que se plantea en el presente trabajo debe constituir una base sólida para el desarrollo futuro de medidas de adaptación y el fomento de la resiliencia no sólo de los espacios urbanos litorales de nuestro ámbito territorial, sino que podría aplicarse a islas turísticas con rasgos climáticos similares.

I.2.2. Interés científico

El cambio climático es un fenómeno bien conocido y estudiado desde la década de los 70, tanto a nivel institucional como científico. En este contexto, en 1972, se celebró la Conferencia de Estocolmo enfocada en establecer las acciones necesarias para paliar la degradación medioambiental en el planeta, así como en conocer sus causas, entre otras, el cambio climático. Asimismo, empezaron a aparecer los primeros trabajos científicos que vinculaban las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) con el incremento de la temperatura: el científico Sawyer en 1972 pronosticaba un incremento de +0,6°C para el año 2000. No obstante, uno de los trabajos más importantes fue el desarrollado por Charney (1979), que, en su conocido informe, pronosticó un aumento tanto en la concentración de CO₂ a escala mundial como en el aumento de la temperatura entre 1,5°C-4,5°C si las emisiones de CO₂ se duplicaban. En este sentido, las investigaciones que analizan dicha concentración han experimentado un rápido avance durante las últimas décadas debido, fundamentalmente, a la mejora tanto de las observaciones directas, como al desarrollo de los análisis a partir de los satélites y la teledetección, dando lugar así a multitud de publicaciones científicas sobre el sistema climático. En el caso de esta tesis doctoral, si bien tiene un alcance regional-local, se suma a todas las iniciativas y esfuerzos dirigidos a aumentar nuestro conocimiento sobre el mencionado campo.

En esta investigación, la atención sobre el cambio climático se focaliza tanto en el estado de la cuestión en los archipiélagos macaronésicos como en sus efectos debidos a los eventos extremos. La relación entre el calentamiento global y los fenómenos meteorológicos extremos es mucho más difícil de constatar, que los cambios que se producen en las tendencias de temperatura o precipitación. Esto se debe a que se trata de eventos puntuales en el tiempo y en el espacio, que se presentan con relativamente poca frecuencia en el territorio. No obstante, empiezan a aparecer investigaciones que evidencian el incremento de estos

episodios a escala planetaria (IPCC, 2013; Banholzer *et al.*, 2014; Herring *et al.*, 2015; Herring *et al.*, 2016; Papalexiou y Montanari, 2019; Turco *et al.*, 2019). Es una prueba de que estos fenómenos no sólo se pueden dar en otras regiones, sino también en el área de estudio analizada. Para la región macaronésica se identifican, así mismo, diferentes publicaciones que analizan diversos tipos de fenómenos como olas de calor e incendios forestales (Dorta, 2001; Cropper y Hanna, 2014), temperaturas extremas (Cropper 2013; Cropper y Hanna, 2014), precipitaciones de alta intensidad (Tarife *et al.*, 2012), o la variabilidad de los ciclones tropicales para la zona del Atlántico norte (Cropper 2013; Haarsma, 2013; Baatsen *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017). Sin embargo, las publicaciones que se han analizado tanto de tendencias en los diferentes elementos del clima como las anteriormente citadas, sobre impactos, estudian de forma pormenorizada sus temáticas, pero obviando la interrelación entre los elementos del clima y los impactos ambientales y socioeconómicos. Es en esta última idea donde se pretende ahondar, mostrando la realidad científica más reciente sobre el calentamiento global en la Macaronesia. Además, la aplicación de técnicas estadísticas para analizar tendencias sobre elementos como las temperaturas o las precipitaciones en algunos de los trabajos que conforman el bloque central de la tesis (López *et al.*, 2017; Dorta *et al.*, 2018; López *et al.*, 2019) contribuirá a completar los trabajos realizados sobre fenómenos extremos.

Del mismo modo esta tesis explora la escala como uno de los elementos fundamentales en una evaluación del riesgo. Unas evaluaciones que como Füssel (2007, p. 268) define suponen unos “auténticos desafíos metodológicos” debido a que los enfoques tradicionales de evaluación presentan un carácter estático y por ello no son capaces de dar respuesta al complejo, incierto y dinámico problema del cambio climático. Esta evaluación está integrada por tres factores, la exposición, la vulnerabilidad y la amenaza que, a su vez, se encuentran determinados por dos componentes. Uno de ellos es la escala de análisis, que puede tener un carácter diverso (Ruiz Pérez, 2011); el otro la disponibilidad de información, cuyo óptimo no es siempre alcanzable. La selección de una escala de trabajo de detalle le otorga un grado de diferenciación a la presente investigación respecto a otros estudios que trabajan en escalas más amplias. Esta quizá sea una de las principales y más relevantes aportaciones de esta investigación. La identificación y el empleo de unidades de análisis como la parcela catastral, puede tener gran interés para procesos de planificación y adaptación local al cambio climático, pero lo tiene sin duda, desde el punto de

vista de la observación y el estudio de los riesgos climáticos reflejados en el territorio.

El cambio climático y los riesgos hidrometeorológicos, que tienen relación con éste, presentan un impacto directo en la escala local. A tal efecto resulta necesario el desarrollo de nuevos conocimientos y metodologías a escalas de gran precisión espacial que permitan conocer las limitaciones, riesgos y peligros inherentes al clima y abordar, al mismo tiempo, el impacto que puedan tener en actividades de enorme importancia para nuestro ámbito de trabajo como el turismo.

Otro rasgo importante a destacar y que se ha vinculado con alguna de las preguntas de investigación de esta tesis doctoral es la derivada de que los procesos de adaptación en la Macaronesia, apenas han tenido ningún desarrollo científico, más allá de trabajos puntuales (Esquivel *et al.*, 2015; Yeray *et al.*, 2015; Yeray *et al.*, 2016; Barbosa *et al.*, 2017). Por ello, desarrollar métodos como la evaluación de riesgos que conforma una estrategia dentro de las acciones de adaptación, además de contextualizar las acciones de adaptación que se han desarrollado en la Macaronesia, y en Canarias en particular, dotan a la presente investigación de una gran utilidad científica como soporte a los distintos estudios que se desarrollen en el futuro en el ámbito del cambio climático, y especialmente de la adaptación, así como también los posibles marcos reguladores que puedan realizarse sobre la adaptación al cambio climático en la Macaronesia.

1.2.3. Interés social

Uno de los primeros trabajos que abordó el concepto de emergencia climática de forma central fue el desarrollado por Frantz y Mayer en (2009, p. 210) afirmando que “Una vez que las personas tomen conciencia de los cambios que tienen lugar a su alrededor, comenzarán a darse cuenta de que estos cambios implican que realmente se trata de una emergencia”. El simple hecho de abordar algunos aspectos del cambio climático en la presente investigación cuando se están produciendo importantes cambios medioambientales, sociales y económicos a escala global derivados de este fenómeno da lugar a que se vayan a desarrollar contenidos de relevancia social. Esto es más notorio cuando conceptos como cambio global y emergencia climática empiezan a evidenciar la gran velocidad con la que se están produciendo esos cambios. Tratar, por tanto, un tema como

el cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, la adaptación y el turismo exige que la presente tesis doctoral tenga un enfoque social y vinculado con un concepto como el de “desarrollo sostenible”. Un concepto que apareció por primera vez en el informe Brundtland en 1987, y sobre el que se sustenta la línea de investigación del programa de doctorado correspondiente a esta tesis “Gobernabilidad, sostenibilidad y desarrollo territorial”. Además, en el transcurso de esta investigación se tratarán de forma directa algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030. Es el caso de la acción climática o las ciudades sostenibles, a través de los objetivos planteados en la investigación.

Una parte del desarrollo de esta tesis doctoral se ha ocupado en el análisis, recopilación y elaboración de nuevos datos que contextualicen la realidad del calentamiento global para la Macaronesia. En este caso, los escenarios trabajados evidencian que comienzan a manifestarse determinados cambios, como ya se ha citado, de tendencia hacia un incremento de la temperatura (Cropper y Hanna, 2014; Luque *et al.*, 2014; Dorta *et al.*, 2018) y una alteración en los regímenes pluviométricos y en sus totales (Sánchez-Benítez *et al.*, 2016; Máyer *et al.*, 2017; Dorta *et al.*, 2018). Estos dos elementos son los más ampliamente estudiados, aunque no serán los únicos a tratar. Estos cambios, por tanto, confirman que el clima en la Macaronesia no es el mismo que hace unas décadas atrás, volviéndose menos confortable y más extremo (Dorta *et al.*, 2018), con las implicaciones socioeconómicas que esto conlleva. Así, se deben tener muy presentes tanto los posibles riesgos asociados como, sobre todo, la vulnerabilidad de las pequeñas islas que, en nuestro caso, conforman la Macaronesia.

Las pérdidas económicas por desastres de origen climático a escala mundial desde 1998 hasta 2017 han aumentado en torno a un 150% (EM-DAT, 2018). En el caso de un archipiélago como Canarias para un periodo similar se observan unas pérdidas estimadas en unos 600 millones de euros (López *et al.*, 2018). Estas cifras señalan la alta vulnerabilidad y exposición de determinados territorios a la actual variabilidad climática y los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos. Por tanto, la observación directa y el estudio de los citados eventos extremos en la Macaronesia se convierten en un elemento de gran interés para los planificadores y gestores del territorio y las emergencias en los archipiélagos, permitiendo así conocer lo acontecido en el pasado, evaluar sus efectos y explicar sus impactos futuros. Por otro lado, esta investigación supone una relevante fuente complementaria al resto de estudios ya publicados sobre cambio

climático en la región (Dorta, 2001; Vaquero y García Herrera, 2008; Bethencourt y Dorta, 2010; Fragoso *et al.*, 2012; Martín-Esquivel *et al.*, 2012; Cropper y Hanna, 2014; López *et al.*, 2016; Dorta *et al.*, 2018).

Es previsible que muchos riesgos asociados al cambio climático se concentraren en las áreas urbanas, en las que vive la mayor parte de la población. Estas, en gran medida, se relacionan con la actividad humana que, a su vez, se vincula con la transformación durante las últimas décadas de los distintos usos de suelo en áreas turísticas litorales, unos procesos que no sólo pueden ser identificados en la Macaronesia, sino también en otras regiones, tanto de España (Olcina *et al.*, 2016; Ballesteros *et al.*, 2018) como del Caribe (Scott *et al.*, 2012b), o Indonesia (Wijaya y Furqan, 2018). De este modo, se torna imprescindible para unas sociedades que pretenden ser desarrolladas, fomentar las acciones necesarias para aumentar la resiliencia y se posibilite el desarrollo sostenible de estos espacios con el propósito de que puedan impulsar y elaborar acciones de adaptación frente al cambio climático.

Trabajos como esta tesis doctoral que abordan la investigación de los efectos del cambio climático sobre un espacio turístico son clave para el impulso de medidas de mitigación y, fundamentalmente, de adaptación. Hasta la actualidad, en general, las acciones para afrontar el cambio climático se han desarrollado de forma general sin atender a las particularidades de los sectores de actividad como puede ser el turismo y las realidades de cada territorio. De igual modo las acciones han estado centradas en la mitigación y, sobre todo, en la cuestión energética. Por ello, el estudio del cambio climático y de sus riesgos ligados se hace necesario para establecer las acciones que deben integrar tanto la planificación específica sobre cambio climático como el resto de políticas vinculadas con la emergencia climática. En este sentido la evaluación de medidas concretas en espacios turísticos apenas ha contado con estudios (Olcina, 2012).

De este modo, la evaluación local de riesgos constituye una herramienta de utilidad para caracterizar tanto las presentes como las futuras condiciones de un territorio, una herramienta que se enmarca dentro de la denominada Reducción del Riesgo de Desastres (RRD), un proceso que constituye en sí mismo una acción de adaptación (Tomalla *et al.*, 2006; O'Brien *et al.*, 2008; Brikmann y von Teichman, 2010; Solecki *et al.*, 2011). Por ello, la aproximación mediante una escala de detalle a la valoración de una de las principales amenazas cuyos efectos

pueden verse identificados (precipitaciones intensas) resulta de gran interés y más aún desde la perspectiva de los espacios y actividades turísticas. Unas actividades que, por su propia relación con el medio urbano y natural, entran en contacto directo con los fenómenos meteorológicos extremos (Navalpotro y Sotelo, 2018). Por lo tanto, tan sólo a escalas locales es posible capturar todos los procesos que conforman la vulnerabilidad y el riesgo; asimismo, este nivel de trabajo posibilita desarrollar procesos participativos que mejoren el empoderamiento de las comunidades y favorezcan determinados procesos de adaptación (Hardoy *et al.*, 2001, Asare-Kyei *et al.*, 2015, Díaz-Pacheco *et al.*, 2017).

I.3. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

I.3.1. Objetivo general

El objetivo general de esta investigación es conocer los efectos del cambio climático sobre los fenómenos meteorológicos extremos en la Macaronesia, con el fin de diseñar una metodología de evaluación local del riesgo como proceso de adaptación. El logro del objetivo general anteriormente descrito se fundamenta, en primer lugar, en conocer las evidencias y tendencias del cambio climático, así como de los fenómenos meteorológicos de rango extraordinario acontecidos en la Macaronesia, con especial atención a Canarias. En segundo lugar, a través de una evaluación del riesgo a escala local, como forma de adaptación, se busca desarrollar una metodología de análisis del impacto de una amenaza, en este caso, las precipitaciones, en territorios de alta vulnerabilidad como son los espacios turísticos insulares.

I.3.2. Objetivos específicos

Para poder alcanzar el objetivo general anteriormente descrito se han de ejecutar los objetivos específicos que se mencionan a continuación:

1. Definir un marco teórico que fundamente y posibilite el desarrollo de la tesis doctoral, analizando la bibliografía existente sobre las evidencias y tendencias del cambio climático en la Macaronesia, así como aquellas referencias de interés para otras partes del trabajo como la adaptación al cambio climático.

2. Mostrar nuevos datos, especialmente los vinculados a variables climáticas, así como fenómenos meteorológicos de rango extraordinario con el fin de contribuir a evaluar el cambio climático y sus consecuencias, así como a validar los trabajos científicos realizados hasta la actualidad.

3. Identificar las principales amenazas que se dan en la región macaronésica, abordando con especial detalle los fenómenos meteorológicos extremos. Este estudio podrá sustentar futuras investigaciones para esta región y el desarrollo de algunos de los trabajos presentados en el bloque II.

4. Interrelacionar los fenómenos meteorológicos adversos, el cambio climático y el turismo, siendo esta última una actividad que se desarrolla en sectores altamente expuestos ante las posibles futuras variaciones climáticas. Por ello se plantea un análisis comparado del turismo y las principales amenazas de origen natural en los cuatro archipiélagos de la Macaronesia.

5. Evaluar el impacto de los fenómenos meteorológicos extremos a través del análisis de la base de datos del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) para el caso de las Islas Canarias, identificando así los desastres de consecuencias más graves de las últimas décadas.

6. Evaluar la vulnerabilidad como componente esencial de los procesos de adaptación al cambio climático. El impacto de este depende, en gran medida, de la capacidad de las sociedades insulares para reducir su vulnerabilidad y la de sus actividades primordiales como el turismo, ante nuevos escenarios con mayor frecuencia y más intensidad de fenómenos meteorológicos extremos.

7. Abordar el estudio de la adaptación al cambio climático como parte de la evaluación de riesgo. Para ello se realiza un diagnóstico y una valoración de la evolución temporal de la adaptación al cambio climático a través de los distintos marcos reguladores. En el caso concreto de las Islas Canarias se estudian las acciones desarrolladas a escala regional.

8. Realizar una evaluación de riesgo, a escala local, que integre elementos correspondientes a la amenaza, exposición y vulnerabilidad frente, sobre todo, a una de las amenazas con una mayor vinculación con el calentamiento global, las precipitaciones, cuyos principales efectos territoriales son las inundaciones. Esta

metodología será de aplicación en un área litoral turística de alta vulnerabilidad como es el caso del suroeste de la isla de Tenerife.

I.3.3. Preguntas de investigación

A continuación, se presenta la hipótesis a modo de preguntas de investigación, cuya respuesta se vincula con los objetivos anteriormente descritos:

a-) ¿Cuál es el estado de la cuestión del cambio climático en los espacios insulares y específicamente en la Macaronesia?

Esta pregunta presenta un carácter general y está relacionada, tanto con el objetivo general de esta investigación, como con los específicos. Responder a esta pregunta ha proporcionado parte del soporte científico y del eje vertebrador de esta tesis doctoral. El primer paso para comprender los retos del cambio climático debe apoyarse en una base científica sólida. A escala global es innegable un cambio en muchos de los patrones climáticos que conocemos, como las temperaturas o el incremento del nivel del mar. Sin embargo, la importancia de esta pregunta estriba en conocer si estos cambios se dan en la región de análisis y cuál sería su comportamiento y efectos en el caso de producirse. Por ello, se hace necesario estudiar los diferentes elementos climáticos y conocer qué certezas científicas existen para la región de estudio.

El análisis se lleva a cabo a través de una dedicada tarea de síntesis exploratoria sobre un gran conjunto de publicaciones científicas sobre cambio climático que ya existen, tanto para esta región específica, como para otras que abordan análisis a otras escalas espaciales. Todo esto, además, permitirá desarrollar parte del contenido del marco teórico de este trabajo, analizar las fuentes a utilizar y, por último, indagar en posibles metodologías a utilizar en los diferentes trabajos.

b-) ¿En qué medida se pueden establecer nuevas evidencias científicas que ayuden a consolidar los datos publicados?

Para abordar esta cuestión se realizan análisis complementarios, tanto de precipitaciones como de temperaturas, del mismo modo se estudia la evolución de las tormentas y los ciclones tropicales en el Atlántico Norte Suroriental. Asimismo, se incluye la investigación de eventos recientes de gran interés

meteorológico como la ola de calor de mayo de 2015 o las precipitaciones estivales que se han registrado en los últimos veranos.

c-) *¿Cuáles han sido los principales fenómenos meteorológicos extremos en los cuatro archipiélagos que componen la Macaronesia?*

Para aproximarse a la respuesta de esta pregunta se ha realizado un análisis exhaustivo que aúna los eventos más destacados de origen climático que han acontecido en los distintos archipiélagos macaronésicos. Hasta el presente se contaba con trabajos individuales, como el de Dorta (2007) que abordaba únicamente el archipiélago de Canarias o estudios concretos de fenómenos individuales como las inundaciones (Marzol *et al.*, 2006^a; Máyer 2001 y 2002). La presente aportación aborda las amenazas naturales y en especial las de origen climático de forma transversal y actualizada.

d-) *¿Qué impactos tiene el cambio climático sobre el turismo en la macaronesia?*

Turismo y cambio climático se analizan de forma paralela en esta tesis doctoral. El análisis de este binomio se debe al hecho de que el área de estudio está conformada por archipiélagos con una clara vocación turística. La relación entre turismo y cambio climático ha sido ya ampliamente tratada (Olcina 2012, 2016 y 2017; Gómez-Martín 2005, 2014 y 2017^a), y muestra la necesidad de que el turismo debe adaptarse a las más que previsibles alteraciones climáticas futuras; principalmente por tratarse de una actividad especialmente sensible y susceptible a las variaciones climáticas y por su importante peso en muchas economías, como es el caso de los archipiélagos macaronésicos. Por todo ello, se ha llevado a cabo un diagnóstico de las singularidades turísticas de la región macaronésica y, en segundo lugar, se expone una metodología de evaluación del riesgo en un área turística dentro de la región. Con todos estos elementos se pretende responder a la pregunta planeada.

e-) *¿Cuál ha sido el impacto de los principales fenómenos meteorológicos extremos?*

Algunos de los aspectos que menos se han tratado, son aquellos relacionados con el impacto, en términos económicos, de los eventos de rango extraordinario, en términos económicos, sobre los archipiélagos tratados. Responder a esta

pregunta a través de la investigación de un caso concreto como las Islas Canarias, servirá, por un lado, para contextualizar su incidencia en economías tan delicadas como las insulares y, por otro, para suministrar información de gran relevancia para la reducción del riesgo en la región.

f-) ¿Cómo evaluar la vulnerabilidad frente al cambio climático?

El Quinto Informe del IPCC (2014a) identifica la vulnerabilidad como el elemento central para reducir o mitigar los impactos del cambio climático. Por tanto, cualquier evaluación del riesgo que se plantee implicará el desarrollo de un diagnóstico de la vulnerabilidad desde una perspectiva de conjunto, capaz de integrar las diferentes dimensiones que articulan la complejidad territorial (económica, social, ambiental, etc) que recibirá ese impacto. En este trabajo, a partir de un modelo metodológico de detalle, se aborda el estudio de la vulnerabilidad en un ámbito turístico, donde, por otro lado, esta clase de evaluaciones suelen ser inadecuadas o inexistentes en este tipo de ámbitos territoriales (Le Masson y Kelman, 2011).

g-) ¿A nivel institucional en la Macaronesia y en particular en las Islas Canarias qué acciones y/o políticas se han desarrollado para afrontar el cambio climático?

Uno de los principales aspectos a considerar en una investigación como la presente es la contextualización del marco legal sobre cambio climático desarrollado en la Macaronesia y, fundamentalmente, en las Islas Canarias. En este trabajo, por tanto, a través de la búsqueda y recopilación de las diferentes acciones desarrolladas como puede ser la Estrategia Canaria de Lucha Contra el Cambio Climático del 2009 (ECCC) se expondrán las acciones institucionales desarrolladas hasta la actualidad a diferentes niveles, focalizando en las políticas de adaptación.

h-) ¿Podemos entender la evaluación del riesgo y de la vulnerabilidad como acciones de adaptación al cambio climático?

El cambio climático constituye quizás, el principal reto global que afronta el ser humano y cuya trascendencia va más allá de lo meramente científico, afectando a múltiples sectores de actividad y a diferentes escalas espaciales. En

consecuencia, esta pregunta está muy relacionada con las anteriormente planteadas. La elaboración de una evaluación local del riesgo debe constituir el primer paso como forma de un proceso de adaptación local, como forma de evaluar la exposición y la vulnerabilidad frente a peligros específicos, con la finalidad de establecer, fundamentalmente, estrategias de adaptación efectivas y características de un ámbito tan dinámico como el local insular.

I.4. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio del cambio climático se caracteriza por su transversalidad, pues son múltiples las disciplinas desde las que se puede abordar: Física, Biología, Sociología, Geografía, Economía, etc. Sin embargo, todos estos enfoques han de entenderse como complementarios y necesarios para alcanzar metas tan ambiciosas como las que exige un buen proceso de adaptación. El desarrollo de este trabajo, las técnicas, así como los métodos empleados, se encuentran insertos dentro de este marco de complejidad, definido por múltiples elementos que interaccionan entre sí y responden a las perturbaciones que introduce el cambio climático. En este sentido, conociendo la amplitud de enfoques y trabajos que, a su vez, tratan múltiples aspectos relacionados con este fenómeno, conviene señalar que esta investigación y sus objetivos, se enfrentan fundamentalmente desde la perspectiva que aportan las ciencias sociales y desde la óptica específica de la Geografía.

El cambio climático y las causas del fenómeno se explican, fundamentalmente, por parámetros físicos y químicos, que tienen su origen en la interacción de la radiación solar y los sistemas de regulación térmica que se producen entre los elementos de la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera de la Tierra. Además, gran parte de los efectos que se están generando, se enmarcan dentro de lo que podemos denominar cambios ambientales que tendrán importantes repercusiones en los ecosistemas y, por tanto, esencialmente biológicas. Sin embargo, y por primera vez en la historia geológica del planeta, el propio fenómeno de índole sobre todo físico-química, está siendo generado por las sociedades humanas y su actividad económica; y, por otro lado, es la misma sociedad, quien sufre muchos de los impactos del cambio climático.

Los efectos del cambio climático sobre la sociedad o sobre las distintas sociedades que se distribuyen en el globo no manifiestan una respuesta física o

biológica tan evidente hacia los cambios ambientales, como la que pueden manifestar otras especies animales y vegetales, debido fundamentalmente, al estrecho vínculo natural que mantienen con su hábitat. Los impactos sobre los que incide este fenómeno en nuestra especie, se relacionan también, en cierta forma, con cambios en las condiciones ambientales que permiten el desarrollo de nuestra vida pero, sobre todo, se manifiestan en alteraciones sobre nuestras actividades socio-económicas, las cuales, a su vez, van a estar precisamente, muy ligadas a los impactos físicos y biológicos que el cambio climático tendrá en otras especies y sus hábitats.

El objetivo de este trabajo se enmarca, justamente, dentro del campo en el que podrían agruparse los efectos del cambio climático sobre la actividad económica y, de manera concreta, sobre el turismo. Luego, dentro de las perturbaciones ambientales, se incide, sobre todo, en el comportamiento de las amenazas naturales vinculadas al cambio climático. En términos geográficos de índole regional, la observación del fenómeno se ha focalizado en los territorios insulares, como conjuntos geográficos diferenciados que comparten características comunes. Por último, a través de un ejercicio de ampliación de la escala de análisis, se observa el caso de una región insular atlántica de vocación turística, como los archipiélagos de la Macaronesia.

En adición, una de las principales aportaciones del presente estudio indaga en los procesos sociales, proactivos y reactivos, que se generan y que deberían generarse en torno a la adaptación y a la reducción del riesgo de desastres, proponiendo métodos para el análisis del riesgo en espacios locales, insulares y turísticos, a través de la denominada evaluación de riesgo.

Teniendo esto en cuenta, desde el punto de vista teórico, cobra enorme sentido establecer inicialmente una explicación general de los principales fundamentos teóricos del cambio climático, sobre todo, en lo que se refiere a algunos de los conceptos que se abordarán en esta tesis doctoral. Además, esto asienta las bases para afrontar el estudio de la evolución histórica de los trabajos en torno a la Climatología, desarrollados en el ámbito macaronésico, con especial interés en aquellos sobre los que se articulan parte de las publicaciones que conforman el bloque II de esta tesis.

El esfuerzo de contextualización servirá para presentar los posibles efectos territoriales del cambio climático en la Macaronesia, abordando el estudio de los fenómenos extremos y su vinculación con actividades tan vulnerables como el turismo. Esto da lugar, en definitiva, a que los fenómenos extremos interactúen con la vulnerabilidad, un hecho que se conecta con la adaptación al cambio climático, cuyo primer paso consiste en reducir la vulnerabilidad y exposición de cualquier territorio a la variabilidad climática actual.

Siendo todas estas las cuestiones de fondo sobre las que se desarrolla el presente trabajo, el marco teórico descansa en los siguientes aspectos, los cuales son concurrentes en todo el cuerpo de esta investigación: 1) El Calentamiento global, cambio climático y cambio global en la Macaronesia; 2) Fenómenos meteorológicos extremos en espacios insulares turísticos; 3) La evaluación local del riesgo como herramienta fundamental para desarrollar procesos de adaptación al cambio climático.

1.4.1. Calentamiento global, cambio climático y cambio global en la Macaronesia

1.4.1.1. Aspectos y conceptos generales

Desde que el Premio Nobel Svante Arrhenius publicase en 1896 el primer trabajo científico que relacionó temperatura y CO₂ "*On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*", muchas han sido las investigaciones que han abordado la problemática del calentamiento global y el cambio climático. No obstante, este primer trabajo de Arrhenius pasó desapercibido, prácticamente hasta los años 70. Es en esa época cuando empiezan a desarrollarse estudios más sólidos que analizan la relación directa entre el incremento de las temperaturas y el CO₂ como los de Budyko (1972), Sawyer (1972) y Charney (1979). De este modo en 1975 Wallace Broecker acuñó el término "cambio climático", en el reconocido trabajo "*Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming?*", donde teorizó sobre un incremento de las temperaturas, empleando por primera vez en una indagación científica el concepto de "cambio climático". Sin embargo, el término cambio climático ha experimentado una evolución, ligada más al debate de las causas que a la definición estricta del fenómeno. Estas variaciones sobre las causas están asociadas a los avances científicos que se han ido realizando y exponiendo públicamente, tanto en las Convecciones Marcos de Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático (CMNUCC) como en los diferentes informes realizados por el IPCC.

En 1992 se adoptó en Nueva York la primera CMNUCC, en ella se definió el cambio climático de manera institucional. Esta primera definición sigue incluyéndose en lo que considera **cambio climático** el Quinto Informe del IPCC (2014a, p.181): “Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Ambas definiciones concuerdan en el fenómeno físico-químico, no obstante, la CMNUCC, añade un matiz y es que la variabilidad climática puede ser atribuible a las actividades humanas. A este respecto, la vinculación de la actividad antrópica sobre este fenómeno se ha ido consolidando en los sucesivos informes del IPCC. El trabajo de Sánchez Zabaleta (2014), aborda una síntesis en relación a esta evolución. El Primer Informe del IPCC en 1990 apenas acometió las causas del fenómeno, debido a las pocas convicciones científicas de que el cambio climático fuese debido únicamente a la injerencia humana sobre el sistema natural. Desde entonces, los siguientes informes han ido avanzando en la hipótesis sobre las causas del fenómeno del cambio climático. El Tercero, en 2001 (p. 5), concluyó “la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se debió probablemente al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero hasta ratificar en los últimos informes que el fenómeno actual del cambio climático es debido a la actividad del hombre sobre el planeta”. Con los dos últimos informes, la afirmación anterior toma una mayor solidez científica, hasta tal punto que el último de 2013 (p.14) afirma “es sumamente probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX”. Por consiguiente, es cada vez más notorio el

consenso científico (Cook *et al.*, 2013) reflejado en el elevado número de estudios realizados que demuestran que el fenómeno del cambio climático es altamente vinculable a la acción antrópica. Este último hecho, ha dado también como resultado que el IPCC diferencie el concepto de cambio climático estrictamente e incorpore conceptos como “Cambio climático rápido o abrupto” o “Cambio climático asegurado” para hacer referencia a la causa antrópica como factor desencadenante del actual fenómeno, lo que se denomina cambio climático antropogénico.

Del mismo modo que es casi unánime el consenso sobre las causas del cambio climático, con el **calentamiento global** se da la misma situación, existiendo una importante evidencia científica sobre este proceso, definido por el IPCC como “Aumento gradual, observado o proyectado, de la temperatura global en superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropógenas”. Este forzamiento radiativo positivo derivado del aumento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se debe básicamente a dos grandes transformaciones en el uso de la energía: (1) el reemplazo de la energía hidráulica por el carbón, que originó la Revolución Industrial, a finales del siglo XVIII, y (2) el uso de petróleo como combustible para el transporte. De esta manera, la quema de carbón y petróleo transformaron las sociedades con fuentes de energía que elevaron rápidamente la riqueza económica y la productividad (Pearson y Foxon, 2012), pero con ello también se multiplicaron la emisión de GEI, fundamentalmente el dióxido de carbono (CO₂), que es responsable de casi el 78%³ del total de emisiones causantes del calentamiento global (IPCC, 2014b).

Asumidos los conceptos de cambio climático y calentamiento global, conviene introducir otros dos nuevos conceptos: **sistema climático** y **efecto invernadero**.

Sistema Climático

El término clima hace referencia a la descripción de un conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una región, durante un periodo representativo, de 30 a más años⁴. Estas condiciones climáticas vienen determinadas por la complejidad, interrelaciones e intercambios de energía de lo que se conoce como

³ Entre el periodo comprendido entre 1970 y 2010.

⁴ Según la Organización Meteorológica Mundial.

sistema climático, constituido por los subsistemas de la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera, la biosfera y la criosfera. No obstante, estos cinco componentes naturales no son los únicos responsables de la configuración climática de un entorno y, como se desprende de los anteriores párrafos, el factor humano es otro de los integrantes a tener en cuenta dentro del sistema climático. Autores como Martín Vide (2008 y 2009), hablan incluso de un sexto componente el “subsistema socioeconómico” (Figura 1), derivado del profundo y extenso cambio tanto en los usos de suelo como en los sistemas productivos. Estas transformaciones han dado lugar a la alteración del funcionamiento “normal” de estos subsistemas, comportando cambios en los balances radiativos, energéticos e hídricos del planeta, a través de prácticas como la deforestación o la emisión de contaminantes y residuos.

Figura 1. Componentes del sistema climático



Fuente: Adaptado de Martín Vide, 2008

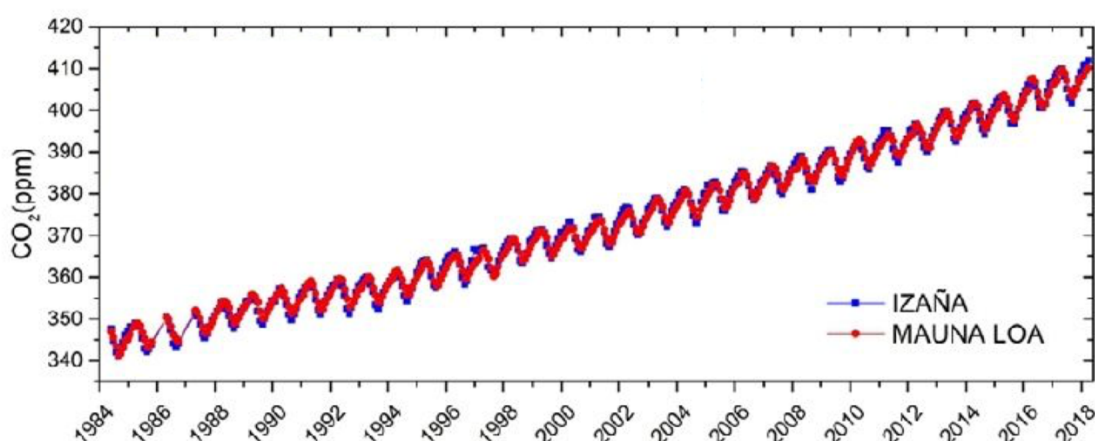
El efecto invernadero

El aumento de la concentración atmosférica de los GEI, ha provocado una alteración en el balance energético del planeta y, por tanto, del sistema climático. Un mecanismo de gran importancia para este sistema es el conocido **efecto invernadero**, un fenómeno ampliamente difundido y estudiado. En síntesis, la temperatura terrestre resulta del balance energético entre la radiación solar (onda corta) y la radiación infrarroja (onda larga), emitida por la superficie de la

tierra. En este proceso de intercambio continuo, hay determinados gases que son capaces de absorber la emisión terrestre. Este proceso de absorción y remisión nuevamente a la superficie terrestre da lugar a lo que se conoce como efecto invernadero, descrito por J. Fourier en 1820, un proceso natural que es el responsable de que la temperatura media global sea de 15°C, muy superior a la de -19°C que tendríamos sin este fenómeno.

El incremento de las concentraciones de los GEI en la atmósfera facilita una mayor absorción de la radiación de onda larga comportando, por tanto, un incremento de la temperatura, estimada en un 1°C a nivel global en relación a los niveles preindustriales (IPCC, 2018). La concentración actual de gases como el CO₂ es la mayor registrada al menos en los últimos 800.000 años (Hartfield *et al.*, 2017), superándose en 2012 el umbral de las 400 ppm (partes por millón), un valor que en 2020 sobrepasó las 418 ppm⁵ en observatorios tan distantes como el de Izaña (Islas Canarias) y Mauna Loa (Hawaii) (Figura 2) (MITECO, 2019). Los 13.000 km que separan las dos estaciones de medición son una prueba de que no se trata de un fenómeno local, sino de un fenómeno que está ocurriendo en todo el planeta. A este incremento se añaden otros gases como el CH₄ o el N₂O, cuyas concentraciones han aumentado desde 1750 entorno al 150% y el 20% respectivamente (IPCC, 2014b).

Figura 2. Evolución de la concentración de CO₂ atmosférico en los observatorios de Izaña (Islas Canarias) y Mauna Loa (Hawaii), 1994-2018.



Fuente: AEMET

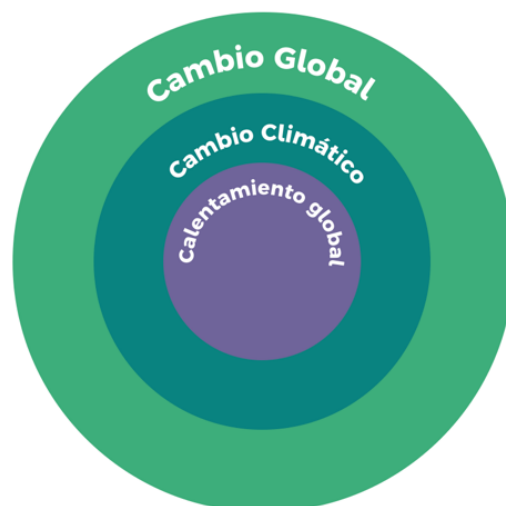
⁵ El 18 de abril de 2019 se registró en Izaña una concentración de 418,7 ppm. Es decir 2,2 ppm por encima de lo alcanzado en 2019.

Calentamiento global, cambio climático y cambio global

Una vez explicados algunos de los conceptos elementales de la presente tesis doctoral, conviene matizar, como cierre a este apartado, algunos aspectos sobre los conceptos de calentamiento global y cambio climático. Uno de los hechos más frecuentes es confundir calentamiento global con el concepto de cambio climático. Sin embargo, el primero únicamente hace referencia al incremento térmico global, mientras que el segundo abarca todos los cambios de los diferentes elementos que componen el sistema climático, al mismo tiempo que incorpora la evolución y evaluación de los fenómenos meteorológicos extremos.

El **cambio global** es un fenómeno mucho más amplio, que además de estar propiciado por el cambio climático (Brown, 2015; Zamora *et al.*, 2016; Harvey, 2018), se refiere también a los grandes procesos de transformación que se están produciendo en la biosfera, tales como la degradación de los ecosistemas, los efectos sobre la salud, la seguridad alimentaria, los cambios en el uso del territorio, etc. En resumen, como afirma Martín Vide (2009, p. 61) “los campos semánticos de las expresiones calentamiento global, cambio climático y cambio global son cada uno más amplio que el anterior” (Figura 3)

Figura 3. Expresiones usuales en el estudio del cambio climático.



Fuente. Adaptado de Martín Vide, 2009

El cambio global pone en evidencia el hecho de que la actividad humana se ha convertido en un agente transformador de las características globales, hasta tal punto, que, cada vez más trabajos comienzan a definir una nueva época geológica

que marcaría el fin del Holoceno y que podríamos denominar Antropoceno (Crutzen, 2006; Ruddiman, 2013; Lewis y Maslin, 2015). Esta serie de autores y sus trabajos científicos mantienen un cierto debate en señalar desde cuándo y de qué manera se han producido estos cambios, pero todos coinciden en apuntar la década de 1950 y 1960 como un punto de inflexión donde la influencia de la acción humana en el sistema de la Tierra ha aumentado considerablemente.

En las transformaciones observadas, una de las causas clave y científicamente demostrada, dentro de los factores de alteración de la composición atmosférica, es el empleo generalizado del uso de combustibles fósiles (Crutzen y Stoermer, 2000). Es en el proceso de combustión de estos para la generación de energía, donde se emite la mayor parte de las emisiones de GEI al planeta, las cuales modifican la atmósfera, produciendo las perturbaciones que originan la variación climática de origen antrópico. Sin embargo, los cambios introducidos se plasman en un marco más complejo de interacciones entre la actividad humana (*subsistema socioeconómico*) y el medio (*atmósfera, biosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera*) (Figura 1). En última instancia, los impactos se producen por la modificación de gran número de hábitats de la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera. Además, introduce cambios en la diversidad biológica (Dirzo, 2014) o el ciclo del agua, por ejemplo; la humanidad utiliza actualmente la mitad de toda el agua dulce disponible del planeta (Zamora *et al.*, 2016). Todo ello es lo que ha propiciado, tanto el empleo del término cambio global, como la definición de una nueva época geológica⁶, donde el cambio climático, es tan sólo una respuesta más del sistema natural al actual modelo de desarrollo (Moreno y Conversi, 2017).

1.4.1.2. Evolución de los estudios climáticos en la Macaronesia. De la observación al cambio climático

La región macaronésica ha sido un excelente laboratorio para el desarrollo de estudios medioambientales debido, entre otros aspectos, a su gran biodiversidad y a su posición estratégica entre Europa, África y América. Así era ya señalado, en

⁶ Zamora *et al.*, 2016, p. 68. “Aunque no ha sido completamente aceptado por la comunidad científica, resulta un concepto útil para señalar los efectos de las actividades humanas que alteran el clima de la Tierra y provocan la modificación de los diferentes ecosistemas terrestres”.

los primeros trabajos modernos de investigación realizados para la región por Alexander von Humboldt o José Viera y Clavijo (siglos XVIII y XIX).

El objetivo de este apartado es reunir las principales conclusiones científicas alcanzadas en torno a la climatología en la región macaronésica, desde los antecedentes vinculados con la época pre-científica hasta los estudios más recientes; Identificando, sobre todo, aquellas investigaciones que tratan el calentamiento global y el cambio climático. Por lo que se han seleccionado las más significativas desde el punto de vista de la evolución de la climatología y las que presentan un interés en la temática de esta tesis doctoral.

Son diversos los trabajos que han analizado las diferentes obras históricas vinculadas al clima de Canarias (Ory, 1994 y 1995; López, 1985 y 1987; Dorta, 2000). No obstante, es el trabajo de Dorta (2000, p. 1603), el que cataloga de manera más completa los diferentes estudios sobre la evolución de la climatología en las Islas Canarias, clasificándolos en precientíficos y científicos. Respecto a los trabajos precientíficos se refiere a aquellos que basan sus contenidos “en la observación visual y la descripción” mientras que los segundos son aquellos trabajos con “una base más científica, con la incorporación de series fiables y largas series de datos numéricos y estadísticos”.

Los trabajos precientíficos comienzan con Leonardo Torriani en el siglo XVI (Dorta, 2000). En 1590 el ingeniero italiano en su “Descripción de las Islas Canarias”, realiza una caracterización de los aspectos humanos y físicos de las islas, incluyendo por primera vez información relativa al clima del archipiélago. Durante este periodo los trabajos presentan un carácter puramente descriptivo (Glas, 1764; Ledru, 1796) y las referencias al clima se centran únicamente en los rasgos climáticos más identificativos de las islas como las advecciones de aire sahariano (Viera y Clavijo, 1776), las precipitaciones torrenciales, las sequías, o el distintivo mar de nubes. En este último elemento y en su estudio somero, por ejemplo, se centran publicaciones como la de George Glas en 1764 o la de Humboldt en 1799. Del mismo modo, durante los siglos XVIII y XIX, a raíz de los numerosos viajes con fines exploratorios se desarrollaron algunos avances⁷

⁷ En el trabajo de P. Valladares (1995) se describen y documentan algunos de estas obras de autores clásicos como Feuillé, Glas, Humboldt, Berthelot o Vernau entre otros.

entorno a la descripción de los pisos de vegetación y su relación con la temperatura y la humedad del aire.

El papel de los relatos y crónicas antiguas han favorecido la descripción de los principales rasgos del clima de Canarias. Mucha de esta información ha sido rescatada por varios estudios, que han permitido reconstruir algunos de los eventos o fenómenos más extremos acontecidos en las Islas Canarias. Uno de los eventos más representativos son las advecciones saharianas, unos fenómenos que, gracias a la abundante bibliografía histórica (Anchieta y Alarcón, 1705-1767; Scott, 1900, Smith, 1922), ha posibilitado la reconstrucción de sucesos prácticamente desde el siglo XVI, identificando de este modo su extensión, intensidad e impactos territoriales. De este modo se han podido estudiar episodios extremos como los de febrero de 1898 y 1920 que pueden equipararse en sus características e intensidad a eventos más recientes como los de enero de 2002 o febrero de 2020. De la misma forma, las precipitaciones extremas y sus implicaciones territoriales, es decir, las inundaciones, han sido objeto de numerosas referencias a través del tiempo. Citas históricas que ejemplifican la importancia de esta amenaza desde el siglo XVII, siendo numerosos los episodios constatados (1645, 1781, 1783, 1826) que desde entonces han afectado a Canarias (Quirantes *et al.*, 1993) acarreado numerosas pérdidas tanto económicas como humanas. El evento de 1826, conocido como la tormenta de San Florencio, ha sido el episodio más grave de origen climático del que se tiene constancia en el archipiélago canario (Bethencourt y Dorta, 2010). Del mismo modo, la sequía conforma una amenaza con un importante número de relatos históricos (Millares, 1860), los cuales principalmente a partir de la información proporcionada por las rogativas ha permitido reconstruir episodios de falta de agua o periodos secos desde el siglo XVIII (Hernández, 1990; Romero y Máyer, 2002; Dorta, 2007).

Sin embargo, no será hasta 1823, cuando se realice la primera publicación específica sobre el clima de Canarias (Ory, 1994; Dorta, 2000), realizada por Leopold von Buch "*Remarques sur le clima des îles Canaries*". Es a partir de esta fecha, y, sobre todo, desde mediados del siglo XIX cuando se empiezan a afianzar trabajos científicos más sólidos como el de Piazzzi-Smith en 1856, contribuyendo a describir la estructura vertical de la baja troposfera en la región (López, 1985) o el de Scott (1900) sobre las masas de aire del norte de África. No obstante, una de las principales aportaciones en los estudios climáticos de la Macaronesia se produce en 1905 y fue realizada por el científico inglés Alfred Brown que realiza

una descripción de los rasgos climáticos de los archipiélagos de Azores, Madeira y Canarias, incluyendo información relativa a la circulación atmosférica para este sector.

A partir de la década de 1940, con autores como Font Tullot, la climatología científica realiza grandes aportaciones para el estudio de la región. Font Tullot, es el autor de referencia, ya que establece las bases del conocimiento del clima en las Islas Canarias (Dorta, 2000). Entre sus múltiples trabajos sobresale el publicado en 1956 "El tiempo atmosférico de las Islas Canarias", un trabajo que recopila parte de las conclusiones de sus numerosas publicaciones (Font Tullot, 1950, 1951, 1955a, 1955b) al mismo tiempo que presenta una completa clasificación de tipos de tiempo para las islas y también publica sobre los rasgos climáticos de Azores y Madeira (Font Tullot, 1983). Tras Font Tullot, Huetz de Lemps es el responsable de la segunda gran obra en el campo de la climatología insular "*Le climat de Iles Canaries*" editada en 1969. Su investigación se apoya en modelos sinópticos, el uso de sondeos termodinámicos, así como en sólidos análisis estadísticos y plantea, además, una mejora en la clasificación de los tipos de tiempo que ya había sido desarrollada por Font Tullot. Este último definía un total de ocho tipos de tiempo, mientras que Huetz de Lemps emplea únicamente tres, con la diferencia de que incluye muchos subtipos y condicionantes que dan lugar a múltiples matices. Paralelamente, durante esta época se desarrollan algunos otros trabajos de interés para la climatología de la región macaronésica, realizados desde otras disciplinas. Uno de estos ejemplos puede ser el del ingeniero Luis Ceballos, que en 1953 publicó un estudio sobre la flora de los cuatro archipiélagos de la Macaronesia, recogiendo, aunque de forma somera, algunos aspectos del clima en esta región.

Con la ya mencionada influencia de Font Tullot y Huetz de Lemps, es a partir de la década de los 80 cuando las publicaciones sobre climatología experimentan un rápido avance, sobre todo por el impulso de los centros universitarios canarios. A este respecto merece una mención especial la geógrafa de la Universidad de La Laguna, M^a Victoria Marzol, cuyas publicaciones han supuesto un gran adelanto en el conocimiento general del clima de las islas, centrandó su investigación en torno a las precipitaciones (Marzol 1987, 1988a, 1988b, 2002) y con especial atención a la precipitación de niebla (Marzol, 1994, 1996, 2005, 2010). Asimismo, desarrolla investigaciones de enorme interés para el presente trabajo, como la caracterización de las precipitaciones torrenciales en las islas de la Macaronesia

publicado en 2006. En el ámbito de la Universidad de La Laguna, destacan también los trabajos realizados por Pedro Dorta, centrados en el estudio y efecto de las advecciones de aire sahariano (1990, 1991, 1997). Del mismo modo, los fenómenos meteorológicos extremos como el aluvión de 1826 (Bethencourt y Dorta, 2010), la tormenta tropical delta (Arozena *et al.*, 2008) o los incendios forestales (Dorta, 2001). Además, Dorta publica una de las obras de gran interés para esta investigación donde se construye un catálogo de los riesgos climáticos en las Islas Canarias (Dorta, 2007). Este estudio recopila un importante listado de eventos históricos acontecidos en el archipiélago. Por último, otras publicaciones de actualidad e interés para este trabajo, son las realizadas por Pablo Máyer de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Sus obras han contribuido de manera significativa a los estudios climatológicos de las islas, a partir de trabajos centrados en las precipitaciones extremas en islas como Gran Canaria y La Palma (2014, 2016, 2017) y sus implicaciones territoriales a través de las inundaciones en áreas urbanas (Máyer, 2005; Máyer *et al.*, 2006a; Máyer *et al.*, 2018).

Los estudios sobre climatología en el resto de los archipiélagos macaronésicos, no han experimentado el mismo proceso que para el caso de Canarias, tanto en lo que se refiere a su evolución temporal como al número de publicaciones específicas en la materia. Aun así, hay trabajos de referencia para cada uno de los archipiélagos. En el caso de Azores, han de ser destacadas las publicaciones de Ferreira, que en 1980 analizó las características de los regímenes de viento imperantes y su relación con la humedad para este archipiélago. Asimismo, una de sus líneas de investigación ha sido la caracterización de la precipitación (1981a, 1981b) a través de los tipos de tiempo dominantes. Estos dos trabajos concluyeron en una tesis doctoral (1989) sobre el clima para la región del Atlántico Oriental incluyendo los archipiélagos de Azores, Madeira y Cabo Verde, así como referencias a las Islas Canarias. En esta línea Azevedo realizó en 2001 un completo estudio sobre los factores condicionantes del clima en Azores. Respecto al archipiélago de Madeira, ha sido tratado a partir fundamentalmente de estudios para todo el ámbito macaronésico como los desarrollados por Ferreira (1989) o Marzol y colaboradores (2006). Aún así, existen obras de ámbito local que han abordado la caracterización pluviométrica, así como la disponibilidad hídrica para este archipiélago, trabajos encabezados por Figueira y Prada (2003, 2005, 2006), o el de Ramalheira (2014) que hace una clasificación de la caracterización de la precipitación de la isla en relación a sus efectos en el desencadenamiento de inundaciones. Con respecto al archipiélago de Cabo Verde, este cuenta con

interesantes trabajos como el de Correira (1998), presentando un estudio de detalle sobre la irregularidad de la precipitación o el realizado por Lima en 2012, interrelacionando las precipitaciones extremas, con el riesgo de inundación y la ordenación del territorio, en un espacio geográfico que se caracteriza por poseer información muy limitada.

Los primeros estudios sobre el calentamiento global y cambio climático se empiezan a desarrollar a partir de los años 90 del siglo XX. Éstos abordaban la observación de la concentración de gases como el CO₂ en la atmósfera, en base a las mediciones realizadas en el Observatorio Atmosférico de Izaña (Cuevas *et al.*, 1991; Navascues y Rus; 1991). Sin embargo, no será hasta comienzos del siglo XXI cuando aparezcan las primeras investigaciones de climatología que integran, específicamente, el cambio climático y el calentamiento global en su desarrollo. En este sentido, las precipitaciones y sus tendencias constituyeron uno de los primeros elementos analizados. Evidencian, entre otras cosas, la disminución de los totales de precipitación en islas, como Gran Canaria y Tenerife y aumentos en islas orientales, como en Lanzarote (García-Herrera *et al.*, 2003).

Las temperaturas son el elemento más significativo del calentamiento global, Sperling y colaboradores, en 2004 publicaron uno de los primeros trabajos que evidenció variaciones de la temperatura en la isla de Tenerife, constatando un cambio en determinados patrones térmicos como el incremento de la temperatura media en alta montaña. Durante esta primera etapa del siglo, fueron trabajos publicados por Dorta (2003, 2005) los que introdujeron el cambio climático como factor en el análisis de la frecuencia y la estacionalidad de las advecciones de aire sahariano. Este fenómeno es responsable directo de dos amenazas naturales en las islas; las olas de calor y los incendios forestales. Estos primeros trabajos se vieron rápidamente complementados por numerosos estudios sobre el calentamiento global y cambio climático en los archipiélagos de la Macaronesia. De hecho, la presente tesis incluye entre sus objetivos específicos, el análisis de estas investigaciones, cuyos resultados se recogen en el primer trabajo que conforma el bloque II titulado “El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro”.

Conviene destacar, antes de finalizar, que además de los trabajos mencionados, se han producido otras muchas contribuciones de gran valor para la región y en

el contexto de los efectos del cambio climático, sin embargo, y a pesar de su enorme interés científico, estos se alejan de la línea temática y de los objetivos de la presente investigación. Desde la biología, destacan las publicaciones de Fernández Palacios (2007, 2011) o Martín Esquivel (2012, 2015), este último responsable de uno de los proyectos de investigación europeos más relevantes realizados en la Macaronesia sobre cambio climático “ClimaImpacto⁸”. También, desde las ciencias físicas sobresalen las figuras de, el ya citado, Emilio Cuevas (2012, 2018) o Juan Pedro Díaz y colaboradores (2014, 2015, 2019), siendo estos últimos estudios de los pocos que, hasta la actualidad, han abordado el downscaling estadístico para la región de estudio de esta investigación. Igualmente, los análisis oceanográficos han tenido un papel protagonista a través de Javier Arístegui, autor, entre otras publicaciones, del último informe especial del IPCC sobre los océanos y la criosfera publicado en 2019a.

En síntesis, los conocimientos sobre el clima como tal, tienen su comienzo a partir del siglo XVI con relatos meramente descriptivos sobre fenómenos como el mar de nubes, las advecciones de aire sahariano, episodios extremos, etc. Estos trabajos evolucionaron hasta la etapa científica, entre otras cosas a partir de la instalación de los primeros observatorios meteorológicos, de manera que a mediados del siglo XX se empieza a fortalecer tanto en número como en calidad los estudios climáticos en las islas con autores como Font Tullot, Huetz de Lempis, o más recientes como Marzol, Dorta o Máyer. Por otro lado, los temas que más interés han tenido, son los relativos a la definición del contexto climático de las Islas Canarias y los relacionados con las precipitaciones y situaciones de inestabilidad, y las situaciones de tiempo sur. Por último, en los años más recientes se observa como estas cuestiones han empezado a incorporar el factor del cambio climático dentro del desarrollo de los mismos.

1.4.1.3. El cambio de paradigma de la mitigación a la adaptación

En el actual contexto donde las evidencias científicas de los efectos del cambio climático no dejan lugar a duda y éste será un importante elemento de transformación territorial, se desarrollan las dos políticas fundamentales para dar respuesta y reducir los riesgos de este fenómeno: la mitigación y la adaptación. El

⁸ Una explicación detallada de este proyecto puede consultarse en: <http://climaimpacto.eu/> [Consulta el 14 de noviembre de 2019]

concepto mitigación aplicado al cambio climático, resulta ser conciso en su definición “conjunto de intervenciones humanas encaminadas a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2014a, p. 85). Sin embargo, la expresión adaptación ha resultado mucho más compleja en su definición (Burton, 2002); en primer lugar, por tratarse de un campo de estudio científico relativamente reciente (Simonet, 2010) y, en segundo lugar, por sus tradicionales aplicaciones en otras disciplinas como la Biología, la Psicología, la Antropología, la Sociología o la Geografía.

Desde el punto de vista social es precisamente en la Geografía, donde el concepto de adaptación experimenta una mayor similitud con los actuales enfoques del IPCC sobre la adaptación. Unos planteamientos que se fundamentan principalmente en el análisis de la vulnerabilidad y del riesgo, donde toma gran relevancia la caracterización territorial (PNACC, 2015). El conocimiento de las características e interrelaciones que se pueden dar sobre un determinado territorio, son de gran interés para conocer cómo se van a comportar las amenazas sobre el espacio. Así, de este modo, se podrán establecer mecanismos correctores orientados a la disminución de la vulnerabilidad de los espacios que estemos trabajando.

El término adaptación dentro de la geografía se remonta a la Escuela de Chicago con el geógrafo Harlan H. Barrows. Este autor en 1923 publicó *“Geography as human ecology”*, introduciendo el concepto de ecología humana y adaptación dentro de la disciplina geográfica. Barrows entiende que el objeto de la geografía debe ser el estudio de las relaciones del hombre y del medio, desde el punto de vista de los ajustes y respuestas del ser humano al medio (Capel, 2003), es decir, de cómo este se ajusta o adapta a las condiciones de un determinado ambiente cambiante. Esta interpretación realizada por Barrows desde la ciencia geográfica se asemeja, en gran medida, a lo planteado por el IPCC (2014a, p.180), donde el clima se concibe como parte fundamental del medio: “[La adaptación es el] proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos”.

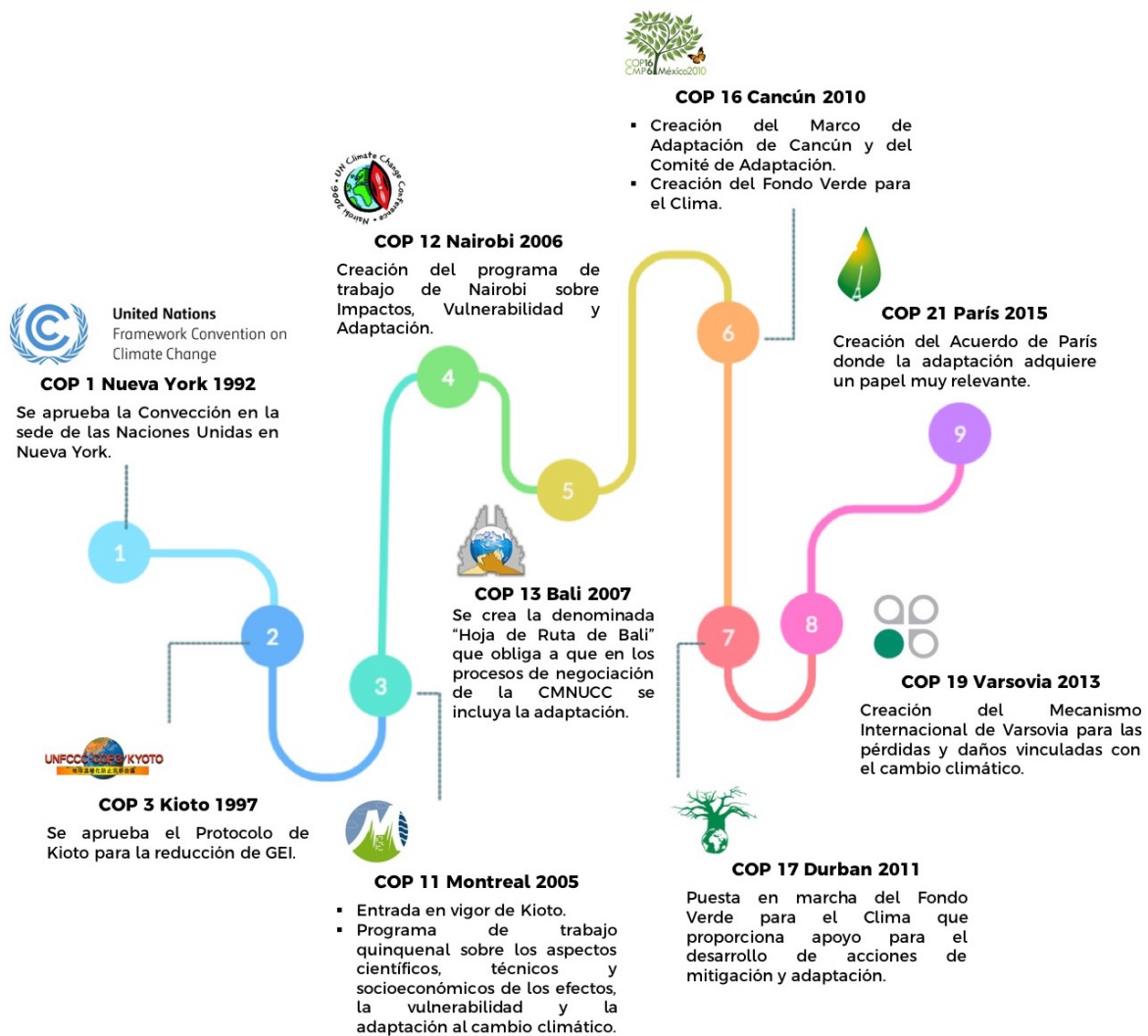
Los conceptos de mitigación y adaptación han tenido un desarrollo desigual en el tiempo. Tradicionalmente, la mitigación ha recibido mucha más atención tanto

a nivel científico como político que el que se le ha prestado a la adaptación. Esto puede deberse a una serie de factores de diferente índole. Füsell (2007) identifica cuatro: (1) La mitigación presenta la capacidad de reducir los impactos en todos los sistemas dependientes del clima, mientras que hay ecosistemas cuya adaptación a los efectos del cambio climático es bastante complicada de conseguir. Este es el caso de los atolones coralinos del Pacífico frente a la subida del nivel del mar; (2) La mitigación reduce la causa raíz del problema del cambio climático, mientras que la adaptación tiene un componente de incertidumbre dependiente de las proyecciones climáticas tanto locales como globales; (3) La mitigación fiscaliza las emisiones de GEI, mientras que los esfuerzos de adaptación son mucho mayores en aquellas regiones cuya contribución al calentamiento global ha sido escasa; y (4) Los GEI son fáciles de monitorear mientras que medir el éxito de la adaptación es mucho más difícil.

La mitigación, ha ido experimentando un cambio de paradigma, tanto a nivel de investigación como a nivel institucional a favor de la adaptación. Este hecho puede incluso observarse en el aumento de publicaciones de investigación y divulgación que se están realizando sobre la adaptación al cambio climático en los últimos años (Burkett *et al.*, 2014; Haunschild *et al.*, 2016; Palutikof *et al.*, 2019). En este sentido, las políticas vinculadas con la adaptación han ido desarrollándose de forma lenta pero constante (López *et al.*, 2016). La adaptación comienza a tener presencia, de manera trascendente, a partir de la COP11 (2005) en Montreal (Figura 4) con el denominado “Programa de trabajo quinquenal sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de los efectos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático”. Este programa sienta las bases para la implantación de los procesos de adaptación a todas las escalas, definiendo unos resultados y programas de trabajo a desarrollar⁹. Además, es el precursor de la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de España (PNACC). No obstante, no será hasta la celebración de la COP13 (2007), cuando las políticas de adaptación empiecen a tener mayor protagonismo a través de la “Hoja de Ruta de Bali” donde se establece que los procesos de negociación vinculados con la CMNUCC deberán centrarse en cuatro pilares: la mitigación; las políticas nacionales; la financiación; y, finalmente, la adaptación.

⁹ Uno de los principales resultados fue el denominado “Programa de Trabajo de Nairobi” en el año 2006 que estableció los primeros vínculos entre RRD y adaptación.

Figura 4. Principales cumbres e hitos en materia de adaptación



Elaboración propia

Será en la COP16 en 2010 y con el desarrollo del “Marco de Adaptación de Cancún”, cuando la adaptación empiece a tomar un papel relevante a partir de la creación del “Comité de Adaptación”, que tiene como finalidad impulsar todas aquellas acciones destinadas a promover la adaptación en las Partes conformantes de las CMNUCC. Este último Marco establece un punto de inflexión entre las políticas de mitigación y adaptación, donde estas últimas toman un peso semejante a las de mitigación (Khan y Timmons, 2013). La constatación de este último hecho se produjo en la COP 21 de 2015, con el Acuerdo de París, un documento planteado para sustituir al Protocolo de Kioto y dar una respuesta eficaz ante el cambio climático.

El Acuerdo de París a través de su articulado (Art. 2, 4, 6, 7, 9) tiene la finalidad de promover tanto el aumento de la adaptación y la resiliencia en cada una de las Partes, así como, garantizar que las acciones de adaptación se desarrollen con la misma intensidad que las de mitigación. Esto se reflejará en una financiación equitativa de las Partes ratificantes del documento.

A escala europea, las acciones también han estado dominadas por la mitigación; un buen indicador de ello son las numerosas directivas y decisiones destinadas al control de los GEI¹⁰ y fomento de energías renovables. Los procesos de adaptación en Europa no se impulsan hasta 2009 con el libro blanco “Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación”, donde se establecen, por primera vez, unos objetivos y medidas a nivel comunitario para el estímulo de la adaptación. Posteriormente, en 2010, con la creación de la Dirección General de Acción contra el Clima, la adaptación comienza a desarrollarse de una manera más fehaciente. Este ente se encarga entonces de generar documentación relacionada con la adaptación como “La estrategia europea de adaptación al cambio climático”, publicada en 2013 y sobre la cual se han desarrollado iniciativas como la plataforma Climate-Adapt¹¹ o el Pacto de los Alcaldes para el Clima; dos iniciativas cuyo eje motor es el fomento de las acciones de adaptación. Asimismo, cabe mencionar el Pacto Verde Europeo aprobado en 2019 y que, aunque presenta unos objetivos enfocados a la neutralidad de emisiones y a favorecer la transición energética en Europa, destaca la urgente necesidad de elaborar una estrategia europea de adaptación más ambiciosa que la anteriormente citada.

El fortalecimiento de las acciones de adaptación también está vinculado a la escasa eficacia para estabilizar y reducir los GEI, como se constata en los últimos informes especiales del IPCC (2018, 2019a, 2019b). Un primer aspecto se deriva de que los GEI ya han supuesto la modificación de las condiciones climáticas del planeta, así como presentan influencia sobre determinados extremos climáticos (Parry *et al.*, 2002). Por otro lado, como consecuencia de las emisiones de GEI durante estas últimas décadas se prevé que la temperatura global siga aumentando por la propia inercia del sistema climático (Meehl *et al.*, 2007; IPCC,

¹⁰ Ministerio de Transición Ecológica: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/documentacion-y-normativa/> [Consultada 14 Mar 2020]

¹¹ Plataforma ClimateADAPT: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/> [Consultada 14 Mar 2020]

2013) independientemente de que las emisiones se redujesen a cero en la actualidad. Este hecho implica que la recuperación del sistema climático sea un proceso lento (Challenger, 1998), y por ello, se necesiten décadas, incluso si se lograsen los objetivos de mitigación propuestos por el Informe Especial 1.5°C del IPCC¹². La mitigación es, por tanto, un proceso temporal mucho más largo que el de la adaptación, cuyos resultados de implementación pueden observarse a corto plazo. Del mismo modo, la adaptación es específica del lugar y del contexto de un territorio y su eficacia depende menos de las acciones de terceros.

Para las políticas de mitigación, en cambio, su éxito resulta del consenso internacional por parte de los principales centros emisores de GEI. Así, los efectos o logros de las acciones de mitigación por parte de una región o entidad local son muy limitados.

Las diferencias entre mitigación y adaptación son mucho más extensas que las expuestas aquí. Existen trabajos que han abordado amplios análisis sobre las características y diferencias de la mitigación y adaptación (Füssel y Klein, 2004; Füssel y Klein, 2006; Füssel, 2007), cuyos principales resultados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales características de la mitigación y adaptación

	<i>Mitigación</i>	<i>Adaptación</i>
<i>Sistemas beneficiados</i>	Todos los sistemas	Sistema seleccionado
<i>Escala</i>	Global	Local
<i>Beneficio en el tiempo</i>	Siglos	Años a siglos
<i>Tiempo de reacción</i>	Década	Inmediato
<i>Efectividad</i>	100%	Incertidumbre
<i>Presenta otros beneficios</i>	A veces	Siempre
<i>Quien contamina paga</i>	Normalmente	Pocas veces
<i>Beneficios para el pagador</i>	Limitados	Casi siempre
<i>Monitoreo</i>	Fácil	Difícil

Fuente: Adaptado de Füssel y Klein, 2006; Füssel, 2007

¹² Para evitar que la temperatura global en 2030 sobrepase el 1.5°C sería necesario reducir las emisiones un 45% respecto al nivel de 2010.

Las políticas de adaptación y las de mitigación no tienen por qué ser excluyentes y deben verse como complementarias (Klein *et al.*, 2007; Klein *et al.*, 2014). Los autores citados también definen un claro espacio de interacción entre mitigación y adaptación, de manera que muchas de las políticas o acciones a desarrollar en un sentido, pueden dar como resultado un reforzamiento mutuo. Un ejemplo de ello es cómo la reforestación de un espacio puede tanto conformarse como un sumidero de CO₂ (*Mitigación*), además de actuar como un elemento termorregulador de un espacio urbano (*Adaptación*). No obstante, estas interrelaciones pueden también ser negativas, si no se establecen evaluaciones previas de impactos del cambio climático. Siguiendo el anterior ejemplo, una reforestación ecológicamente mal diseñada, en un ámbito donde las proyecciones indican una reducción del total de precipitaciones como puede ser en las Islas Canarias (Dorta *et al.*, 2018), puede resultar en detrimento de otras acciones futuras de adaptación en ejes como el turismo o la agricultura. Por ello cada vez son más los trabajos (Willows *et al.*, 2003; Kdwadijk *et al.*, 2010; Brown *et al.*, 2012; Hasse y Kind, 2019) que plantean la importancia de las evaluaciones locales de la exposición y vulnerabilidad como única forma de establecer estrategias efectivas de lucha frente al cambio climático, siendo esta la única forma de implementar acciones de mitigación y sobretodo de adaptación a escala local. Se conforma esta así en una de las principales aportaciones de esta tesis doctoral. Una escala donde también es posible integrar acciones de mitigación que, aunque su influencia respecto a la reducción de GEI pueda resultar insignificante, sí contribuyen en el desarrollo de entornos más sostenibles y el fomento de lo que se denomina trayectorias resilientes al clima (IPCC, 2014a).

Si bien es cierto que las políticas de mitigación y adaptación deben seguir desarrollándose de forma paralela, los escenarios de emisiones de GEI dan lugar a que las principales alternativas para hacer frente al cambio climático sean aquellas acciones vinculadas con la adaptación. En esta línea, trabajos como el de Parry y colaboradores (1998, p.741), ya afirmaban como la “adaptación será inevitable” vaticinando el escaso éxito de la mitigación.

I.4.2. Fenómenos meteorológicos extremos en espacios insulares turísticos

I.4.2.1. Cambio climático en espacios insulares

Los espacios insulares están reconocidos como las áreas más vulnerables al cambio climático (Pelling y Uitto, 2001; Kelman, 2006, IPCC, 2013; Petzold y Ratter, 2015), especialmente vulnerables ante amenazas como el incremento del nivel del mar, las inundaciones, la erosión costera y los cambios en la intensidad y la frecuencia de los eventos extremos, como el caso de los fenómenos tropicales o las precipitaciones intensas y torrenciales (IPCC, 2013; Nurse *et al.*, 2014). En relación a esto último conviene remarcar que dos tercios de los países con las mayores pérdidas por desastres en relación con el PIB son pequeños estados insulares, con daños anuales promedio entre el 1 y 9% del PIB (Giardino *et al.*, 2018). Asimismo, los espacios insulares suelen mostrar componentes que amplifican su vulnerabilidad, pues suelen presentar una gran biodiversidad y sistemas socioeconómicos muy concentrados en un único sector productivo de carácter frágil, como lo es el turismo (Simpson, 2010; Dogru *et al.*, 2019; Khonke y Travis, 2019; Scott *et al.*, 2019). Además, el poblamiento suele estar también localizado en la costa, lo que hace incrementar la exposición de personas e infraestructuras respecto al ascenso del nivel del mar. A este respecto sirva de referencia como la mitad de las playas del mundo podrían desaparecer a finales del siglo XXI si siguen las actuales tendencias de incremento del nivel del mar (Vousdouka *et al.*, 2020).

Los estudios sobre impactos del cambio climático en los territorios insulares empezaron a desarrollarse a partir de la década de los 80, con trabajos inicialmente enfocados en la amenaza del aumento del nivel del mar (Cronin, 1982; Halpern *et al.*, 1983); y fundamentalmente en la región del Pacífico (Oberdorfer y Buddemeier, 1988; Hulm, 1989; Posmentier *et al.*, 1989). Sin embargo, con la publicación en 1990 del Primer Informe del IPCC, la interrelación cambio climático y espacios insulares empezó a desarrollarse de manera más activa y extensa. Dentro de los trabajos realizados por el IPCC, las regiones insulares han cobrado una gran relevancia a través de la inclusión de capítulos específicos dedicados a estas (Bijlsma *et al.*, 1996; Nurse *et al.*, 2001; Mimura *et al.*, 2007; Nurse *et al.*, 2014). Además, los últimos informes manifiestan una clara preocupación en las acciones de adaptación y reducción de los impactos del cambio climático sobre las islas.

Los fenómenos meteorológicos extremos se caracterizan por el hecho de que su manifestación no responde a una regularidad temporal ni espacial, o lo que Cardona (2001) denomina “sistemas complejos no lineales”. Dichos eventos, tradicionalmente han sido entendidos como parte de la propia dinámica natural del sistema climático. Sin embargo, los cambios graduales en elementos climáticos como la temperatura o la precipitación, así como la probabilidad de aumentos de fenómenos meteorológicos extremos han acentuado la incertidumbre sobre la frecuencia e intensidad de los riesgos climáticos en estos espacios insulares (IPCC, 2013; Jevrejeva *et al.*, 2019). En ese sentido, parte de estos efectos ya han sido constatados para distintos territorios insulares. Así, Papelexiou y Montanari (2019) presentan resultados en las variaciones de la intensidad y frecuencia de los extremos pluviométricos entre 1964 y 2013 para áreas insulares como Hawái, islas del Caribe, Islas Canarias, islas mediterráneas y algunos sectores de la Polinesia. Por otro lado, publicaciones específicas para las islas del Caribe muestran un ascenso térmico generalizado para esta región y un aumento en la intensidad de los eventos de precipitación durante el periodo 1986-2010 (Spephenson *et al.*, 2014), así como el ascenso térmico y del nivel del mar (Churh *et al.*, 2004; Palanisamy *et al.*, 2012). A estas conclusiones se añade un aumento en la actividad de huracanes y tormentas tropicales desde mediados de la década de 1990, que pueden estar vinculadas con el citado incremento de la temperatura de la superficie del océano Atlántico (Taylor *et al.*, 2012; Trotz y Lindo, 2013). Los efectos para la región del Caribe no son ajenos a otros territorios insulares, donde con mayor o menor intensidad el cambio climático evidencia, tanto impactos presentes, como futuros (IPCC, 2013; IPCC, 2014a).

Para el caso de la Macaronesia, los trabajos publicados muestran diversos efectos (Dorta *et al.*, 2018). Estos cambios están vinculados, en primer lugar, con el incremento de las temperaturas especialmente en las mínimas, en segundo lugar, con el descenso de las precipitaciones, aunque con mucha incertidumbre, y con la intensificación de las sequías. Esto último, puede dar lugar a variaciones en la disponibilidad hídrica de los archipiélagos. Al igual que en otras regiones, también se ha constatado un ascenso del nivel del mar, cuyas proyecciones futuras dan lugar a un incremento de la posibilidad de inundaciones en las áreas litorales, así como el aumento de procesos de erosión costera. Del mismo modo, este incremento térmico a consecuencia del calentamiento global se relaciona con el aumento en la intensidad de las olas de calor y, por tanto, con un posible crecimiento en el número y extensión de incendios forestales. En este sentido

publicaciones para la Península Ibérica (Royé *et al.*, 2020) que se podrían extrapolar a la región macaronésica constatan tendencias significativas vinculadas a la relación entre la superficie forestal quemada y la producción de un menor número de incendios, lo que demostraría un incremento de la peligrosidad de estos fenómenos. Por último, es importante destacar la posibilidad real de un ascenso en la frecuencia de la llegada de fenómenos tropicales. Este incremento en la peligrosidad atmosférica puede resultar incompatible con la actividad turística (Gómez-Martín, 2005), por lo que cada vez es más importante desarrollar acciones de mitigación de riesgos y adaptación al cambio climático que no resten competitividad, ni a los destinos, ni a las empresas vinculadas con el sector.

1.4.2.2. Clima, turismo y cambio climático

Según estimaciones de la Organización Mundial de Turismo, así como de recientes estudios (Lenzen *et al.*, 2018) el sector turístico es responsable de entre el 5 y el 8 % de las emisiones mundiales de CO₂, lo que supone hasta 45.000 millones de toneladas. Para el caso de España, este valor se estima en torno al 15% del total de emisiones de CO₂ (Cadarso *et al.*, 2016), por lo que la responsabilidad de la industria turística en el calentamiento global es patente. Simultáneamente, como se evidenció en el apartado previo, se están produciendo una serie de efectos vinculados al cambio climático que pueden tener múltiples consecuencias para muchos de los destinos insulares (Becken *et al.*, 2014). El turismo es un sector clave en la mayoría de los territorios insulares. En el Caribe, por ejemplo, el turismo aporta el 15.2% a la economía de la región, generando uno de cada siete empleos (13,8%) (WTTC, 2018). En Maldivas, crea el 39,6% del PIB y el 36,7 % del empleo total (WTTC 2018). Estos hechos, junto a otros elementos (Tabla 2) han dado lugar a que la relación entre turismo y cambio climático haya sido ampliamente estudiada (Gössling, 2002; Gössling y Hall, 2005; Gössling *et al.*, 2012; Roselló-Nadal, 2014; Olcina *et al.*, 2016, Gómez-Martín, 2017b). Así, se han desarrollado relevantes conferencias y congresos internacionales sobre la temática organizadas por la Organización Mundial del Turismo (Djerba, Davos, Durban, Doha, o Kenia).

Tabla 2. Relaciones entre turismo y cambio climático

Relación del turismo con el cambio climático	<ul style="list-style-type: none">▪ Emisiones de gases (aviación, transporte por carretera, producción energética en destinos).▪ Alteraciones territoriales (modificaciones en condiciones originales del medio físico, incremento de superficies "selladas").
Relación del cambio climático con el turismo	<ul style="list-style-type: none">▪ Cambio de parámetros climáticos.▪ Pérdida de confort (modificaciones en preferencia de destinos).▪ Aumento riesgos (extremos atmosféricos, salud).

Fuente: Jorge Olcina, 2012.

Una de las líneas de trabajo desarrolladas en los últimos años es la relacionada con la actividad turística y la necesidad de que ésta se desarrolle bajo los principios de la sostenibilidad económica, social y ambiental (Hall *et al.*, 2015; Lew y Cheer, 2017; Dogru *et al.*, 2019). Dentro de esta sostenibilidad ambiental, el clima constituye una parte fundamental (Gómez-Martín, 1999, 2005, 2017b). Una de las reflexiones que se extraen de los trabajos anteriormente citados es que el turismo debe considerarse como un sistema integrado por un conjunto de componentes que se interrelacionan entre sí, siendo el clima uno de estos elementos del medio natural que forma parte del espacio geográfico y que es esencial para el desarrollo de la actividad turística. Este espacio geográfico es uno de los cuatro componentes que conforman el sistema turístico, junto con la demanda turística, la oferta turística y los operadores del mercado.

Por tanto, el clima y el espacio geográfico se comportan como factor de localización turística, como un recurso turístico y como un atractivo turístico (Gómez-Martín, 2005). Que de forma sintética siguiendo lo expresado en el trabajo anteriormente citado se resumen en:

1. Como **factor de localización**, es un elemento que interviene en los procesos de funcionalización de un territorio. Las características climáticas de un determinado lugar pueden actuar favoreciendo o dificultando la implantación y desarrollo del turismo. Las amenazas del clima pueden ser un factor susceptible de obstaculizar la actividad turística en un territorio o, de forma más precisa, de incrementar los costes de producción.

2. Como **recurso turístico**, el clima se configura en materia prima que, de forma básica o complementaria, participa en la elaboración del producto turístico.
3. Como **atractivo turístico**, cuando éste opera como atributo del destino que juega un papel destacado en la captación del turista. Ese hecho hace que se incorpore a menudo en la imagen del destino seguro como forma de reclamo y promoción de la imagen de las áreas turísticas.

Una vez expuesta la relación entre turismo y clima, se muestra que, tanto el clima, como el tiempo meteorológico, son factores básicos en el desarrollo de la actividad turística y, por extensión, de las áreas destino. Es por ello que las alteraciones derivadas del cambio climático (incremento de la frecuencia de extremos térmicos o pluviométricos, subida del nivel del mar, cambios en la estacionalidad...) pueden poner en riesgo elementos clave dentro del sistema turístico establecido en cualquier región. Autores como Scott y Gössling (2008 y 2012^a) analizaron la problemática del cambio climático en el sector turístico, definiendo los principales efectos de este fenómeno sobre esta actividad económica. Se distinguen los efectos climáticos directos, los efectos indirectos asociados al cambio medioambiental, los efectos indirectos sobre la sociedad y la economía y los efectos sobre las políticas de adaptación y mitigación.

1. **Efectos climáticos directos.** Los impactos del cambio climático alteran la potencialidad turística de los climas, modificando así el atractivo del destino y, por tanto, pudiendo alterar la demanda turística. Estos efectos están ligados a cambios en los parámetros climáticos, tales como las temperaturas o las precipitaciones. Por ejemplo, las variaciones térmicas en una región como Europa, pueden tener una doble lectura, aumentando el confort térmico durante los meses de verano y primavera en el área occidental europea, pero en destinos como España puede tener un efecto negativo tanto en el confort térmico como en la disminución de hasta un 8% en el número de pernoctaciones (Jacob *et al.*, 2018). Asimismo, un calentamiento térmico de 2°C podría suponer para el turismo europeo una reducción en el volumen total de turistas del 5% y unas pérdidas económicas de hasta el 11% (Ciscar *et al.*, 2014).

2. **Efectos indirectos del cambio medioambiental.** Comprende aquellos impactos en las condiciones o recursos naturales, que pueden tener una importante afección en los destinos turísticos dificultando, entre otros elementos el desarrollo sostenible de estos espacios. Entre estos elementos se encuentran la disponibilidad hídrica, la degradación paisajística, o el aumento de las amenazas naturales. Determinados trabajos ya han acometido estos efectos indirectos. Olcina y colaboradores (2016) analizan como las temperaturas más elevadas y las precipitaciones menos abundantes, darán como resultado un volumen disponible de agua menor en la región mediterránea, afectando a actividades como el turismo. Sin embargo, dada la naturaleza de la presente investigación, un aspecto importante a destacar es el efecto indirecto de los impactos de los fenómenos extremos, generadores de territorios de riesgo. Por ejemplo, el desarrollo urbanístico de áreas turísticas litorales en las Islas Canarias ha provocado un incremento de la peligrosidad de fenómenos como las inundaciones (Díaz-Pacheco *et al.*, 2019a; Máyer y Pérez-Chacón, 2006a). El previsible incremento de la intensidad (Dorta *et al.*, 2018) y la concentración de las precipitaciones (Serrano-Notivoli *et al.*, 2017) en la Macaronesia puede provocar el aumento de la peligrosidad y vulnerabilidad de estos enclaves.
3. **Efectos indirectos socioeconómicos.** Donde se agrupan los efectos sobre el crecimiento económico, inseguridad ciudadana y la incertidumbre política que se puede originar a raíz de los impactos del cambio climático en los destinos turísticos.
4. **Efectos de las políticas de mitigación y adaptación.** Estos hacen referencia a las implicaciones que tiene el desarrollo de acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático, a través, por ejemplo, del desarrollo de políticas de reducción de GEI y sus efectos directos en sectores como el transporte aéreo.

El informe especial publicado en 2018 del IPCC “*Global warming of 1.5°C*” afirmaba como el actual calentamiento global ya ha afectado al turismo, tanto en las variaciones climáticas de determinadas regiones geográficas como en la modificación de los riesgos existentes. Es evidente, por lo manifestado anteriormente, que los impactos del cambio climático sobre el turismo tendrán

un gran alcance, afectando a la economía del sector, a las condiciones ambientales de los destinos, a los costos operativos y de transporte, así como a la modificación de la demanda turística (Scott y Gössling, 2018). Todo esto, en definitiva, muestra como el clima y las posibles modificaciones de éste a través del cambio climático incidirán en los espacios turísticos, unos espacios, donde, por otro lado, los sectores costeros serán los más afectados (IPCC, 2018), justamente el área donde se concentra la práctica totalidad de la oferta turística de los cuatros archipiélagos que conforman la Macaronesia.

1.4.2.3. Reducción del riesgo de desastres, adaptación y turismo

El cambio climático afectará a la mayoría de los aspectos de la vida. En consecuencia, también es importante que se definan principios rectores como forma de garantizar que los problemas del cambio climático se integren en las prácticas actuales de sostenibilidad. Por ello se deberá tomar en cuenta al cambio climático en aquellos sectores económicos claves como es el caso del turismo. A pesar de la fragilidad de este a los desastres de origen natural, la industria del turismo tiende a estar mal preparada para estos impactos (Prideaux *et al.*, 2003). La creciente exposición a las amenazas, la elevada sensibilidad de muchas de las modalidades y actividades turísticas, son aspectos que pueden elevar el grado de vulnerabilidad, potenciar los impactos negativos sobre todos los elementos del sistema turístico y favorecer el riesgo de desastres.

La implantación de la actividad turística en un área determinada, suele llevar asociada la transformación del territorio donde se implanta (Díaz-Pacheco *et al.*, 2019a; Díaz-Pacheco *et al.*, 2019b) a través de nuevas formas de ocupación y utilización del suelo, que provocan la modificación de los sistemas tradicionales de aprovechamiento y de gestión del espacio. En numerosas ocasiones, la actividad turística va acompañada de una densificación de usos del suelo, una excesiva artificialización del espacio y una inadecuada localización de equipamientos e infraestructuras turísticas (Olcina, 2012). Estos hechos, sumados a la llegada de población no residente (los turistas) desconocedora de las dinámicas naturales del lugar, acrecientan las condiciones de riesgo de un territorio y contribuyen a que eventos atmosféricos de carácter extraordinario puedan materializarse en desastres.

Tal y como se abordará en el siguiente apartado, la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación, presentan un objetivo común, reducir vulnerabilidades. Por ello, las estrategias de adaptación al cambio climático susceptibles de ser implementadas por el sector y los destinos turísticos, pueden contribuir de forma directa a la RRD (Lin *et al.*, 2017; King *et al.*, 2019). En este sentido, las medidas para la RRD deben ir encaminadas, en primer lugar, hacia la evaluación del grado de exposición a las distintas amenazas de los destinos (inundación, ola de calor, ciclón tropical...) y de las principales infraestructuras y equipamientos turísticos; en segundo lugar, hacia la reducción del riesgo; y, en tercer lugar, hacia la mejor preparación ante los eventos adversos (UNWTO, 1998; Becken y Khazai, 2017). Por ello, el conocimiento tanto de las amenazas como de las vulnerabilidades a los que se enfrenta un destino turístico resulta indispensable y prioritario, un hecho este que se debería vincular con los instrumentos de ordenación y planificación existentes para procurar la calidad del destino turístico (Martínez y Morales, 2017). De este modo, la definición de modelos de ocupación del territorio acordes con la dinámica natural, mediante una adecuada planificación territorial y urbana; la mayor atención a los riesgos de origen natural en la planificación sectorial turística; la consideración de las amenazas en el establecimiento de los calendarios de aprovechamiento turístico y en la gestión de los negocios turísticos; y la mejora de la información y la comunicación, son importantes aspectos a considerar en la RRD (Babinger, 2012).

Uno de los inconvenientes para conocer los efectos del cambio climático sobre el turismo y concretamente en los territorios de especialización turística, es decir, a escala local, ha sido la falta de evaluaciones sectoriales que analicen todos los posibles impactos del cambio climático y sus interrelaciones con esta actividad (Roselló Nadal, 2014; Scott *et al.*, 2016b). Es en este marco, donde el método de la evaluación del riesgo local, como parte de dichas evaluaciones sectoriales, toma sentido como instrumento de RRD y, por ende, como política de adaptación, cuya finalidad no es otra que la de analizar como una sociedad o un sector de actividad concreto conoce, asume y tiene en cuenta el análisis de riesgo y las medidas de mitigación a adoptar para reducir su vulnerabilidad.

I.4.3. La evaluación del riesgo como herramienta fundamental para desarrollar procesos de adaptación al cambio climático

Además de las costas, es en las áreas urbanas donde los impactos del cambio climático se van a experimentar de manera más activa (Jacob *et al.*, 2007; Kirshen *et al.*, 2008). El cambio climático, a su vez, tiene el potencial de cambiar las condiciones climáticas promedio y la variabilidad de los eventos extremos, afectando a los factores de riesgo subyacentes, generando nuevas amenazas y modificando los patrones de vulnerabilidad ya existentes; sea en las poblaciones, los medios de vida de las mismas, los ecosistemas que les sirven de sustento, o en la infraestructura económica y social. Este hecho ha dado lugar a que cada vez haya una mayor interrelación entre las áreas de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) y la adaptación al cambio climático (Thomalla *et al.*, 2006; Venton y La Trobe, 2008; Prabhakar *et al.*, 2009; Gero *et al.*, 2011; Lavell *et al.*, 2012.; Kelman *et al.*, 2015; Kelman, 2015).

Los impactos del cambio climático ocasionan, al mismo tiempo, daños de distinta naturaleza y magnitud, que, en muchos casos, pueden generar importantes efectos sobre el normal funcionamiento de una comunidad o sociedad, generando pérdidas humanas, económicas, sociales y ambientales, poniendo en riesgo, por tanto, el desarrollo y la sostenibilidad de un determinado territorio. Esto da lugar a que autores como el propio Kelman (2015) pongan énfasis en la aplicación de marcos internacionales, como el actual Marco de Sendai 2015-2030¹³ para la RRD como una herramienta para desarrollar acciones frente al cambio climático.

Efectivamente, el estudio de la RRD ha sido dirigido por muchos autores hacia la búsqueda de acciones encaminadas a lograr una disminución de los niveles de riesgo en un determinado territorio, así como a promover entornos seguros que contribuyan al avance de la sostenibilidad (Lavell 2001; Cardona, 2002; Narváez *et al.*, 2009). Un elemento común, dentro de estos estudios, es la proposición de una visión holística del riesgo que integre, no sólo aquellos elementos circunscritos a las amenazas, sino todos aquellos factores implícitos en la vulnerabilidad

¹³ El Marco de Sendai (2015-2030) ha sido acordado por las partes en el seno de UNDRR. El Marco de Sendai se constituye como el actual documento internacional de consenso para mejorar la comprensión de la RRD, en un contexto que debe enfrentar nuevos retos como el cambio climático o el desarrollo sostenible.

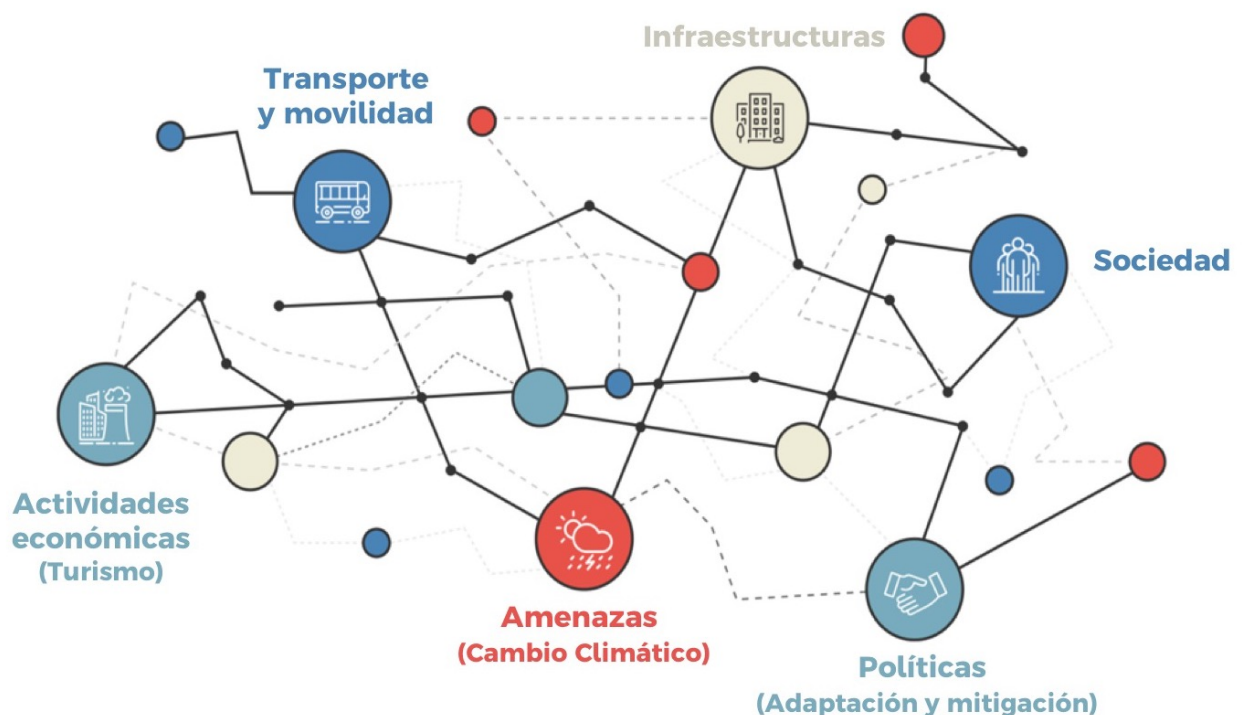
(sociales, económicos, políticos, etc.), que articulan un espacio geográfico; un concepto, la vulnerabilidad, que se dispone como base en cualquier estrategia de RRD (Bogardi, 2004) y que constituye un nexo de unión entre RRD, adaptación y desarrollo sostenible.

Estos planteamientos concuerdan con el concepto de RRD definido por la Oficina para la Reducción del Riesgo de Desastres de Naciones Unidas (UNDRR, 2009, p.27), “Práctica de reducir el riesgo de desastres mediante esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad, una gestión sensata de los suelos y del medio ambiente, y el mejoramiento de la preparación ante los eventos adversos.” Esta definición parte de otro término como el de Riesgo de Desastres (UNDRR, 2009, p.30) “Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro.” La RRD, a diferencia del concepto base de riesgo de desastre, viene determinada por la gestión e incorpora tres dimensiones: la identificación del riesgo; la prevención o reducción del riesgo; y por último el manejo o la gestión del desastre, tanto en lo que se refiere a respuesta como en la recuperación.

La aparición del cambio climático como propulsor de la transformación de los peligros existentes y la aparición de nuevos peligros, motiva la elaboración de nuevas estrategias de RRD (Charlesworth *et al.*, 2010; Solecki *et al.*, 2011). Por lo general, la preparación ante los desastres se ha basado tradicionalmente en el conocimiento de las amenazas y la mitigación del riesgo, a través de la respuesta, cuando un evento se materializa sobre un territorio. Esta concepción, sin embargo, no se adapta a las nuevas formas de entender la gestión del riesgo a partir de conceptos más amplios como la RRD (Pelling, 2004; Blaikie *et al.*, 2004) y un amplio marco no lineal de interacciones entre elementos expuestos, vulnerabilidad y amenaza, que trata el riesgo de desastres como un sistema complejo (Cardona, 2002; GAR 2019) (Figura 5). Los tradicionales métodos de evaluación del riesgo han estado vinculados con los modelos denominados “complicados” que resultan de la suma individual de cada una de sus partes sin analizar posibles interrelaciones, un buen símil serían las partes que ensamblan un automóvil y nos permiten conducir. Por el contrario, un “sistema complejo” es

aquel que exhibe nuevos factores resultado de las interacciones entre sus partes con el entorno o entre ellas. Siguiendo el símil anteriormente planteado, no sólo ya serían las partes necesarias para la construcción de un vehículo que nos permite conducir, sino que, por ejemplo, en este proceso de conducir se incluirá elementos alternativos como un atasco de tráfico. Este enfoque posee la flexibilidad necesaria para incorporar un riesgo altamente variable y con relaciones no lineales como el cambio climático. Por ello, las actuales estrategias para afrontar los desastres o impactos derivados del cambio climático están siendo replanteadas, para incluir enfoques basados en la complejidad y las interrelaciones no lineales, que abordan causas más profundas (GAR, 2019).

Figura 5. Ejemplo de sistema complejo urbano aplicado a la RRD



Fuente: Diseño inspirado en Urban Resilience. Elaboración propia.

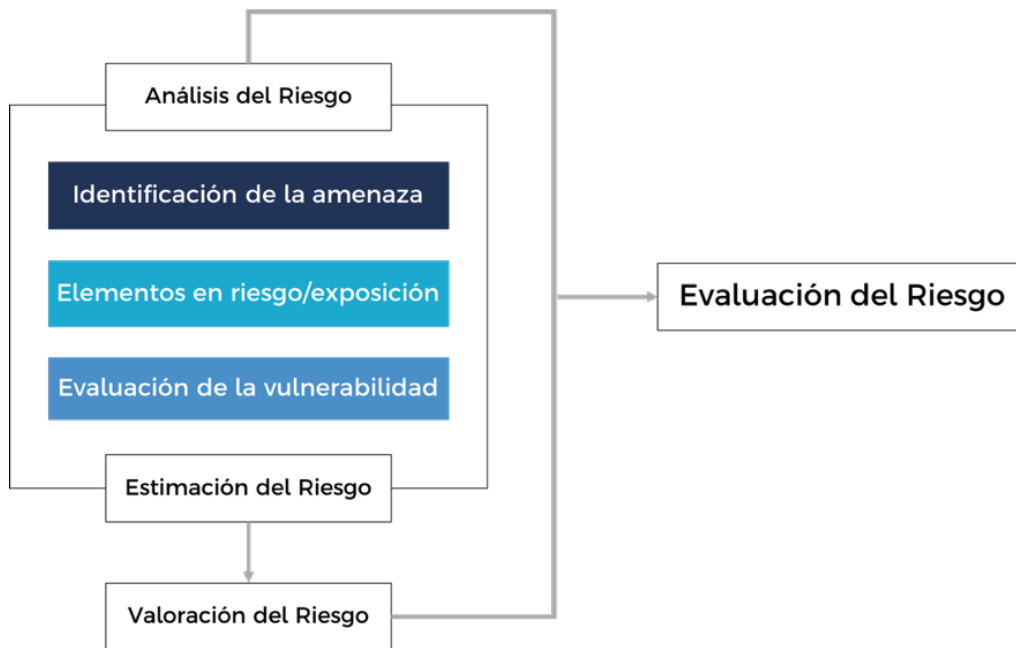
Desde finales del siglo XX, la RRD se ha desarrollado bajo el impulso de acciones internacionales: el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales 1990-1999; la Estrategia de Yokohama de 1994; hasta los más recientes: el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015 y el Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres para 2015-2030. Estos documentos y acuerdos han desarrollado el marco teórico y conceptual, los cuales unidos a los Informes de Evaluación Global (GAR 2009; GAR, 2011; GAR 2013; GAR, 2015; GAR, 2019)

han impulsado las acciones para la RRD a todas las escalas (global, nacional y local).

La evaluación del riesgo es una de las acciones dentro de la RRD. En este sentido hay enfoques como el trazado por Cardona (2002, p. 11) que destaca que la escasa eficiencia de la gestión del riesgo se ha fundamentado en “la inadecuada forma de evaluarlo”, omitiéndose en estas evaluaciones gran parte de los factores generadores del riesgo. Por otro lado, el carácter dinámico de muchos de los elementos que articulan un espacio y que contribuyen a mitigar o ampliar el nivel de riesgo, así como la inclusión del cambio climático como agente potenciador de determinadas amenazas, dan lugar a una necesidad continua de ajustar los métodos de evaluación (Cardona, 2002; Bloomberg *et al.*, 2010; Solecki, 2011).

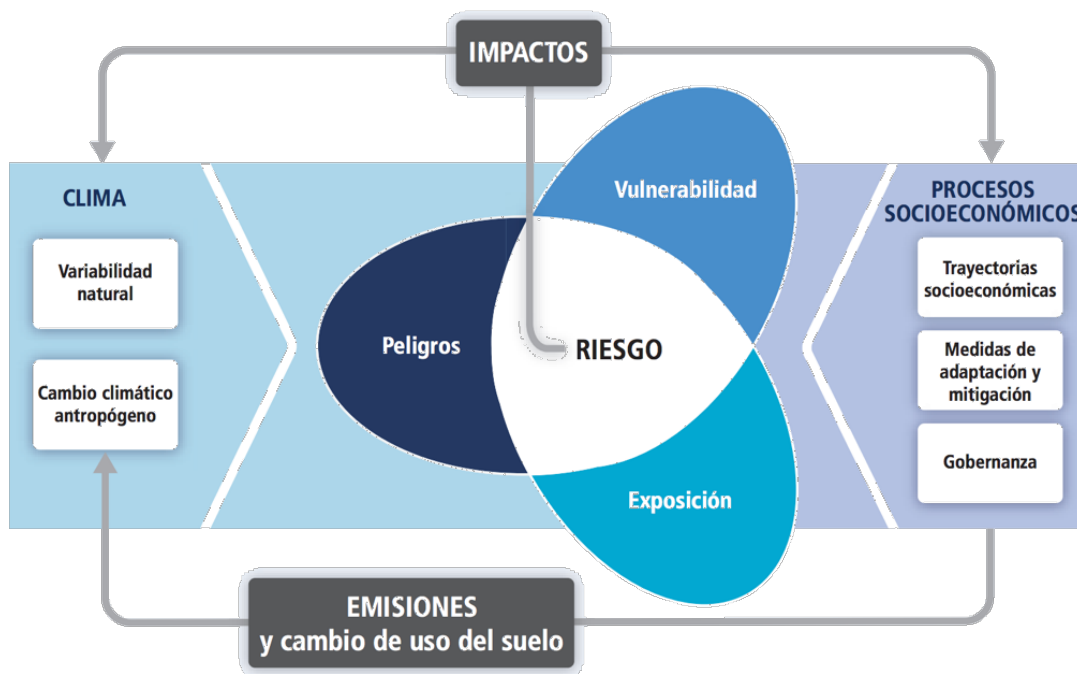
La evaluación del riesgo de desastres, constituye el primer aspecto a desarrollar en una estrategia integral de gestión de RRD (Narváez *et al.*, 2009; Riddell *et al.*, 2019). Esta evaluación contempla dos elementos base, la identificación de las amenazas, así como su valoración sobre un territorio, entendiendo esta valoración como aquellos componentes territoriales sobre los que se materializa un peligro determinado. Estos dos elementos base son desarrollados por Van Westen (2013) en una primera etapa de análisis del riesgo que estima la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad de los elementos en riesgo y una segunda fase de valoración o estimación del riesgo, que debe integrar un buen diagnóstico, referido a como la sociedad conoce, asume y tiene en cuenta el análisis del riesgo y que medidas de mitigación y reducción adopta (Figura 6). Este planteamiento expresado por Van Westen muestra gran similitud con el que presenta el IPCC en su Quinto Informe (IPCC, 2014a), donde el riesgo se deriva de la interrelación entre las amenazas de origen climático con la vulnerabilidad y exposición de los distintos subsistemas sociales, económicos y naturales (Figura 7).

Figura 6. Análisis, estimación valoración y evaluación del riesgo



Fuente: Adaptado de Van Westen, 2013

Figura 7. Evaluación de los riesgos derivados del Cambio Climático



Fuente: IPCC, 2014a

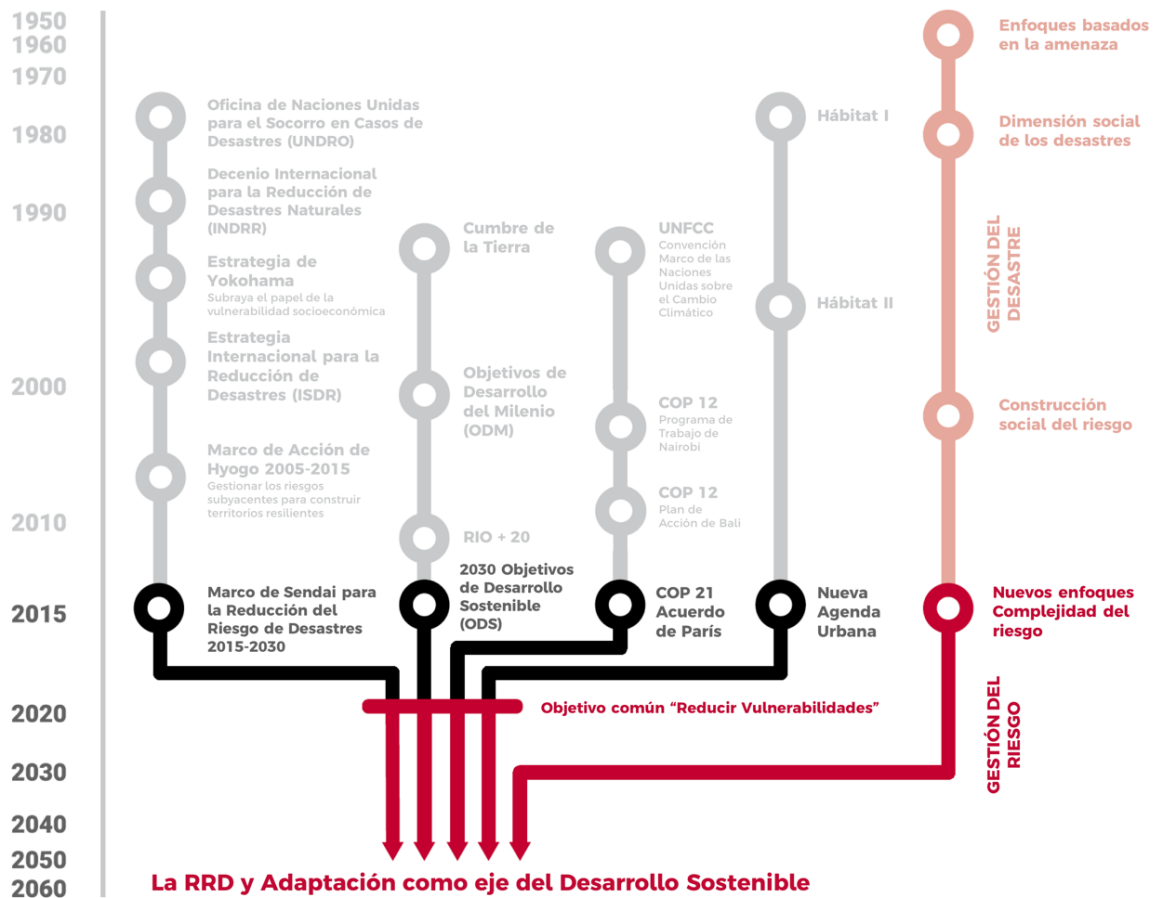
El riesgo tiene su expresión más concreta en el ámbito local; la escala de análisis, por tanto, es un factor clave para el estudio de la evaluación del riesgo. Tradicionalmente este proceso ha sido abordado a diferentes escalas, desde la local hasta la nacional (Ruiz Pérez, 2011). No obstante, existe un amplio consenso en definir la escala local¹⁴ como la más apropiada para su aplicación (FCCC/TP/2008/4; Hardoy *et al.*, 2011; Asare-Kyei *et al.*, 2015; Díaz-Pacheco *et al.*, 2019^a; Cedergren *et al.*, 2017). Cuando se plantea a escala local, suele perseguirse el establecimiento de diferencias espaciales dentro de una región concreta capaces de capturar todos los procesos que conforman el riesgo, así como la vulnerabilidad con el objetivo de establecer posteriormente medidas de reducción del riesgo.

La evaluación de los riesgos del cambio climático ha experimentado una rápida evolución en las últimas dos décadas. Los primeros enfoques, fundamentados en los informes iniciales del IPCC (Carter *et al.*, 1994; Parry y Carter, 1998), atendían únicamente a la evaluación de los impactos derivados en función de los diferentes escenarios climáticos diseñados (Jones y Preston, 2011). A raíz de que los enfoques políticos y normativos han ido avanzando hacia la adaptación, comprendiendo la importancia y beneficios de ésta, se evidencia un cambio de paradigma (López-Díez *et al.*, 2016), que se transpone también en la forma de comprender la evaluación como ejemplifica el ya citado planteamiento del último informe del IPCC (Figura 7). En el marco de la CMNUCC se desarrollaron dos acciones que consolidaron la convergencia entre RRD y adaptación al cambio climático: el Programa de Trabajo de Nairobi (2005) y el Plan de Acción de Bali (2007) (Figura 8).

El Programa de Trabajo de Nairobi sobre Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático presentó el objetivo de ayudar a los países a mejorar su entendimiento sobre los impactos del cambio climático y formular decisiones informadas sobre acciones y medidas prácticas de adaptación. Se estructuró alrededor de nueve áreas de trabajo, cada una de las cuales es clave para aumentar la habilidad para adaptarse con éxito. Por ejemplo, el área 4 se refiere a la consideración de los riesgos climáticos y eventos extremos, dentro de los objetivos generales del programa de trabajo.

¹⁴ El nivel local no puede ni debe equipararse al nivel municipal. Los límites administrativos rara vez coinciden con los procesos de producción del riesgo.

Figura 8. La reducción del riesgo a través del tiempo



Fuente: Diseño inspirado GAR, 2019. Elaboración propia.

La reducción de desastres en el Plan de Acción de Bali considera a la RRD como parte de las directrices para la adaptación. La adaptación debe abarcar, entre otros elementos: la consideración de estrategias de gestión del riesgo y reducción de desastres, incluyendo la transferencia de riesgos y mecanismos como los seguros; estrategias de reducción del riesgo y los medios para enfrentar las pérdidas y daños asociados a los impactos del cambio climático en países en desarrollo. Adicionalmente, identifica un número de principios y requerimientos generales necesarios para la adaptación. Muchos de estos han sido identificados en otros contextos como altamente relevantes para la RRD, particularmente las evaluaciones, estrategias de construcción de capacidades y de respuesta, así como la integración de acciones en la planificación sectorial y nacional.

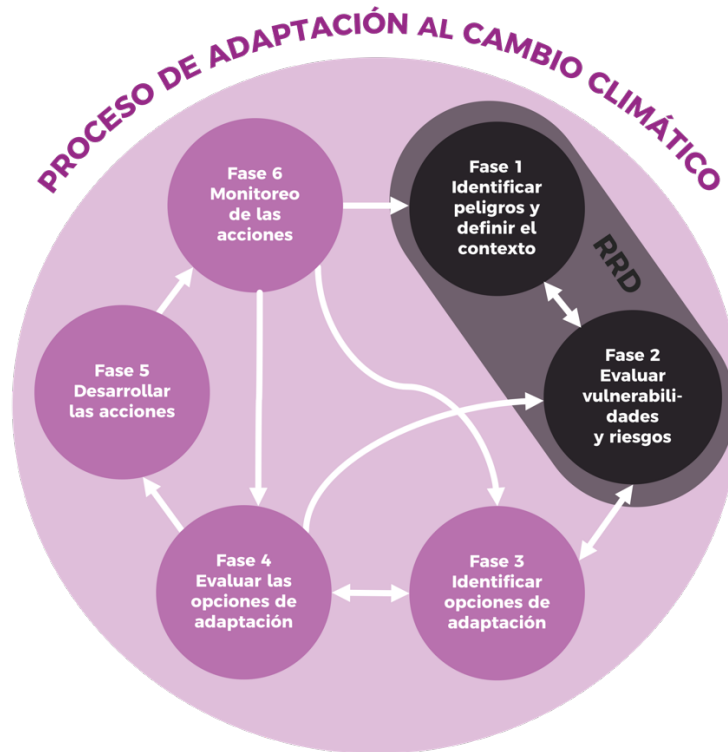
Esta convergencia entre RRD y adaptación se consolida con la publicación del Cuarto y, sobre todo, el Quinto Informe del IPCC donde la evaluación se

comprende como una parte de la adaptación. Esta idea se refleja en la publicación del documento en 2014 “*Climate Change: impacts, adaptation, and vulnerability*”, donde se muestra como la RRD y la adaptación al cambio climático están conectadas a través de un objetivo común: reducir los impactos de eventos extremos y el fomento de la resiliencia frente a los desastres, en aquellas áreas donde la vulnerabilidad es mayor. A partir de este enfoque, con la publicación de informes especiales como el “*Global Warming of 1.5°C*” en 2018, así como otras iniciativas como el Acuerdo de París en 2015 (Art 7 y 9) se ha continuado avanzando en la integración de la evaluación y la adaptación al cambio climático, a través de conceptos como la vulnerabilidad; integrándose, por tanto, en la idea de gestión del riesgo como forma de adaptación al cambio climático (Jones y Preston, 2011; Hassnoot *et al.*, 2013; Hezle *et al.*, 2013; Gilroy y Jeuken, 2018). Este nuevo enfoque como expresa Tonmoy y colaboradores (2019) se centra en cómo gestionar los riesgos del cambio climático, fundamentalmente a través de la adaptación, en lugar de lo que se había desarrollado en las primeras décadas de trabajar únicamente en la identificación de impactos del cambio climático. Todo ello manifiesta un cambio en el proceso metodológico, en línea con lo expresado por otros autores (Palutikof *et al.*, 2019; Street *et al.*, 2019) o el propio Quinto Informe del IPCC (Jones *et al.*, 2014). El estudio de la exposición y la vulnerabilidad a través de la evaluación del riesgo que conforma en sí mismo un proceso de adaptación y que permitirá identificar acciones de adaptación sobre un espacio concreto. No obstante, también se reconoce la complejidad de este tipo de evaluaciones debido a la cantidad de factores que interactúan (Adger *et al.*, 2018), así como la gestión de la incertidumbre derivada del cambio climático, cuyos efectos asociados a un continuo aumento de los GEI puede seguir provocando diversas respuestas en los distintos sistemas climáticos, ecológicos, biofísicos, etc.

La adaptación al cambio climático, ha de comprenderse como una parte de la RRD (Figura 9), siendo múltiples los estudios prácticos que han abordado este aspecto en diversos ámbitos territoriales (Busey *et al.*, 2008; Heazle *et al.*, 2013; Mercer *et al.*, 2014, Schmidt-Thomé *et al.*, 2015). Los resultados de estas metodologías para evaluar el riesgo del cambio climático son componentes importantes para la toma de decisiones en los procesos de adaptación, conformando así una forma de implementar las opciones de adaptación a nivel administrativo (Measham *et al.*, 2011). Entre estas acciones, se refiere a la participación activa como un elemento prioritario (Díaz-Pacheco *et al.*, 2017; Schmidt-Thomé, 2017), tanto para el propio desarrollo de la evaluación del riesgo

como por consistir en sí mismo un proceso de adaptación, mejorando así el empoderamiento de las comunidades.

Figura 9. Integración de la RRD en el marco de la adaptación al cambio climático



Fuente: Adaptado de Tonmoy et al., 2019

Pero, además, uno de los documentos de referencia en el desarrollo de las acciones de adaptación, la ya citada “Hoja de Ruta de Bali” de 2008, atestiguaba como la RRD y la adaptación se encuentran estrechamente relacionadas tanto entre ellas como con el desarrollo sostenible, a través del objetivo de reducir la vulnerabilidad al cambio climático y los desastres. En esta línea si la RRD y la adaptación lo que buscan es reducir vulnerabilidades, ya sea ante los impactos del cambio climático o ante los desastres naturales y antropogénicos, las vulnerabilidades deben identificarse desde la base, ya que los mismos agentes son autogeneradores de vulnerabilidad. Ambos enfoques como defienden varios autores (Schipper y Pelling, 2006; Schultz et al., 2016) deben estar orientados a contribuir al desarrollo sostenible a través de herramientas locales como es la evaluación local. En este sentido, la Estrategia Internacional para la RRD, a través del Marco de Sendai, ha confluído durante su ejecución con importantes retos de carácter global que se integran dentro de la Agenda de las Naciones Unidas, los cuales guardan muy estrecha relación en muchos de sus objetivos. En esta línea, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, a través de los Objetivos de

Desarrollo Sostenible (RRD y resiliencia están reflejadas en 5 metas y en 10 de los 17 ODS), el Acuerdo de París de 2015, soportado en los trabajos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), y la Nueva Agenda Urbana de Habitat III adoptada en Quito en 2016, cuentan con metas comunes y donde el fortalecimiento de la resiliencia y la RRD son aspectos imprescindibles y relacionados dentro de cada una de las Agendas previstas.

La RRD es, en definitiva, la capacidad que tiene una sociedad para hacer frente a determinados riesgos, entre ellos el propio cambio climático. Dada la capacidad del cambio climático para generar peligros y vulnerabilidad por sí mismo, la RRD puede ofrecer una visión integral sobre los componentes que articulan los riesgos de un territorio. Glantz (2015), siguiendo esta idea sugiere la necesidad de buscar proyectos específicos que combinen la adaptación al cambio climático con la RRD, a fin de incorporar ambas. Por esto razón, la RRD se configura como un espacio que debe sustentar el desarrollo de acciones específicas de adaptación al cambio climático, siendo este uno de los principales ejes de esta tesis doctoral.

I.5. PRESENTACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO

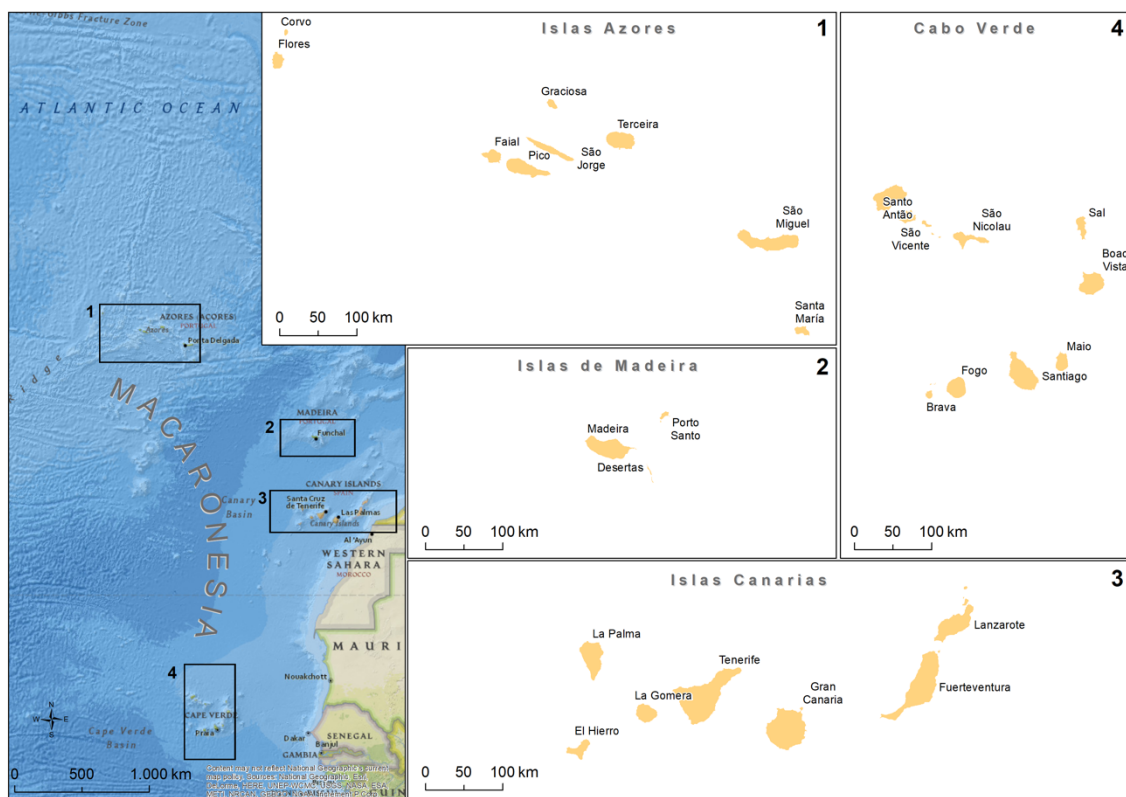
El objetivo de este apartado es profundizar en el conocimiento de la Macaronesia, es decir, en el conjunto de los archipiélagos que conforman el área de estudio de esta tesis doctoral. Para ello, se comenzará por tratar algunos aspectos generales sobre sus principales rasgos geográficos, focalizando fundamentalmente en sus características climáticas. Tras este primer apartado se ahondará en los principales eventos extremos acontecidos en el conjunto de los archipiélagos, presentando una descripción de las principales manifestaciones extremas. Finalmente, el último apartado incidirá en algunos rasgos generales del turismo. En este sentido conviene matizar que algunas de las publicaciones del bloque II acometen o abordan contenidos de este epígrafe. No obstante, la información que se presenta a continuación complementa a los de estos trabajos (Dorta *et al.*, 2018; Dorta *et al.*, 2020; López-Díez *et al.*, 2016, López-Díez *et al.*, 2019) debido a que no se está sujeto a las limitaciones en extensión de las normas de publicación.

I.5.1. La región macaronésica, islas-laboratorio para el estudio del cambio climático

El término Macaronesia procede de los vocablos griegos *makarios* (“feliz”) y *nesos* (“islas”), un concepto empleado por primera vez por el botánico Philip Webb a

mediados del siglo XIX para referirse al conjunto conformado por los archipiélagos de Madeira, Salvajes y Canarias (Fernández-Palacios *et al.*, 2017). Sin embargo, la inclusión del resto de archipiélagos fue posterior; el archipiélago de Azores se consideró parte de esta región a finales del siglo XIX (Engler, 1879), mientras que Cabo Verde no sería hasta pasada la mitad del siglo XX (Pierre Dansereau, 1961). De este modo se constituyó la actual región biogeográfica de la Macaronesia, un espacio que integra los archipiélagos de Azores, Madeira, Salvajes, Canarias y Cabo Verde. La zona comprendida por estos archipiélagos se extiende entre las latitudes 39° 45'N y 14° 50'N y las longitudes 31° 15'W y 13° 25'W. En sentido, Norte-Sur, es decir, entre Corvo, la isla más septentrional de las Azores, y Brava, la isla más meridional de Cabo Verde, existiendo una distancia entre estos puntos de 2.800 km. En sentido Este-Oeste, entre la isla más alejada de la superficie continental, Flores (Azores), y la más próxima, Fuerteventura (Canarias), existe una distancia aproximada de 1.800 km. Sobre esta área se extienden más de 40 islas e islotes que ocupan una superficie total de 15.061 km² (Figura 10).

Figura 10. Localización de los archipiélagos de la Macaronesia



Fuente: Dorta *et al.*, 2020

Tabla 3. Principales rasgos geográficos de las islas macaronésicas

	ISLA	Superficie (km ²)	Altitud (m)	Edad (Ma)	Población (miles de habitantes)	Densidad (hab/km ²)
AZORES	São Miguel	757	1103	0,82	135	178,3
	Pico	446	2351	0,25	14,6	32,7
	Terceira	401	1021	3,52	55	137,2
	São Jorge	246	1053	0,55	9,5	38,6
	Faial	173	1043	0,73	15	86,7
	Flores	143	914	2,16	4	28,0
	Santa María	97	587	6	5,5	56,7
	Graciosa	61	402	2,5	4,7	77,0
	Corvo	17	718	0,71	0,4	23,5
MADEIRA	Madeira	517	1861	5	260	502,9
	Porto Santo	42	517	14	5,5	131,0
	Desertas	14	479	5	n/c	n/c
	Salvajes	3	154	27	n/c	n/c
CANARIAS	Tenerife	2034	3715	11,5	917,8	451,2
	Fuerteventura	1655	807	21	116,9	70,6
	Gran Canaria	1532	1949	15	851,2	555,6
	Lanzarote	805	671	16	152,2	189,1
	La Palma	708	2423	2	82,7	116,8
	La Gomera	370	1487	12	21,5	58,1
	El Hierro	269	1501	1,5	10,97	40,8
	La Graciosa	29	266	0,05	0,7	24,1
	Alegranza	10,3	289	>0,035	n/c	n/c
	Lobos	4,6	122	n/c	n/c	n/c
	Montaña Clara	1,5	256	0,039	n/c	n/c
CABO VERDE	Santiago	991	1392	4	274	276,5
	Santo Antão	779	1979	7,6	44	56,5
	Boa Vista	620	390	17,5	9,2	14,8
	Fogo	476	2829	5,1	37	77,7
	São Nicolau	343	1304	6,2	123	358,6
	Maio	269	436	9,8	6,9	25,7
	São Vicente	227	774	9,3	76	334,8
	Sal	216	406	15,3	26	120,4
	Brava	64	976	1,8	6	93,8
	Santa Luzía	35	395	7	n/c	n/c
	Raso	7	164	2,3	n/c	n/c
	Branco	3	327	6	n/c	n/c

Fuente: ISTAC, 2019; INE, 2019; Fernández Palacios *et al.*, 2017. Elaboración propia.

N/C: No consta

Todos los archipiélagos de la Macaronesia presentan rasgos geográficos similares, entre ellos una gran analogía geológica al ser todos de origen volcánico, siendo el más antiguo el archipiélago de Salvajes, dependiente administrativamente de

Madeira con 27 Ma, mientras que Azores es el más joven en su conjunto no sobrepasando los 6 Ma, con islas como Pico que apenas tiene 0,25Ma (França *et al.*, 2005) (Tabla 3). Esta identidad de origen lleva a la existencia de estructuras geológicas y paisajísticas similares en los diferentes archipiélagos como son las calderas, conos volcánicos, malpaíses, etc.

Del mismo modo se trata de islas volcánicas de relieve complejo y biogeografía muy variada, tanto en cuanto a flora como a fauna. La región Macaronésica es conocida por su alta biodiversidad endémica, sirva como ejemplo los más de 1.300 endemismos existentes en Madeira (Borges *et al.*, 2008) o los más de 4.000 de las Islas Canarias (Arechavaleta *et al.*, 2010). Esta biodiversidad sitúa a la Macaronesia como el área europea con mayor riqueza en cuanto a su biota terrestre y marina se refiere, comparable al de otras regiones mundiales como Hawái, Madagascar o Galápagos (Fernández-Palacios *et al.*, 2011). Sin embargo, esta situación podría verse modificada o alterada por el impacto del cambio climático; trabajos como el de Sperling (2004) demostraron como la laurisilva canaria era altamente vulnerable a cambios regionales en las condiciones climáticas, un hecho que evidencia la enorme fragilidad de determinados ecosistemas ante futuras variaciones climáticas.

Esa rica biodiversidad es resultado de unos rasgos climáticos, en cierta medida, similares. En general, se trata de regiones subtropicales bañadas por aguas relativamente frías. Las islas más septentrionales (Azores) son más frías y lluviosas, y las más meridionales (Cabo Verde) más cálidas y secas. Todas, poseen rasgos térmicos muy suaves debido a la gran influencia oceánica. No obstante, observadas estas similitudes, es preciso citar algunas diferencias sustanciales.

El archipiélago de Cabo Verde muestra rasgos climáticos sensiblemente distintos al resto de la Macaronesia. Éste registra temperaturas notablemente más cálidas y, sobre todo, un régimen pluviométrico típicamente tropical con un máximo estival-otoñal, frente al resto de los territorios (Azores, Madeira, Salvajes y Canarias). Por tanto, el origen de las precipitaciones en el caso de Cabo Verde, difiere del resto de archipiélagos de la región macaronésica. Azores, Madeira y Canarias presentan una precipitación fundamentalmente ligada al paso de sistemas frontales invernales cuyos efectos se ven potenciados por la influencia del relieve, con un máximo en los meses fríos y un régimen pluviométrico general análogo al de las regiones mediterráneas.

Tabla 4. Pluviosidad media en la Macaronesia, 1980-2019¹⁵

	Estación	Altitud (m)	Orientación	Pmm	Días con lluvia (%)	C.V (%)
AZORES	Santa Bárbara	197	SW	1235,3	42	19
	Altares	166	NW	1260	46	28
	Sao Sebastiao	154	SE	1233,3	49	22
	Sao Bartolomeu	153	SW	1218,7	46	26
	Agualva	140	NNE	1633,3	37	19
MADEIRA	Areeiro	1610	Cumbre	2745,9	49	33
	Bica da Cana	1584	Cumbre	2761,5	44	32
	Santo da Serra	688	SE	2040,9	46	32
	Santana	414	NE	1338,7	42	26
	Funchal	66	S	613,2	24	28
CANARIAS	El Hierro Aerop.	32	NE	194	12	58
	La Palma Aerop.	33	E	339	19	44
	Tenerife Sur Aerop.	64	S	118,8	6	67
	Izaña	2371	Cumbre	369,5	12	45
	Tenerife Norte Aerop.	632	N	533,3	28	29
	Santa Cruz de Tenerife	35	NE	223,9	16	38
	Las Palmas de Gran Canaria	24	NE	133,2	9	46
	Fuerteventura Aerop.	25	E	93,2	8	57
	Lanzarote Aerop.	14	E	109,5	11	49
CABO VERDE	Curralinho	818	SW	431,8	5	41
	Serra Malagueta	765	Cumbre	575,7	6	35
	Assomada Portaozinho	550	Interior	374,2	6	35
	Varzea Santana	320	SW	362,2	4	43
	Achada Moerao	288	N	322,2	3	56
	Montanha Banana	215	Interior	222,1	4	67
	Trindade	204	SW	197,5	3	59
	S. Martinho Pequeno	152	SW	191,9	3	68
	Sao Francisco	89	SE	202,2	5	54
	Chao Bom	16	NW	227,1	4	64

Fuente: Marzol *et al.*, 2006 y NOAA. Elaboración propia.

Por el contrario, las precipitaciones en Cabo Verde se vinculan en su práctica totalidad al ascenso latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), dando lugar a que este archipiélago presente los totales pluviométricos más modestos del conjunto de los archipiélagos. Por el contrario, Azores presenta la pluviometría media más elevada, debido a su relativa alta latitud. La posición de las Azores en el centro del Atlántico hace que se encuentre mucho mejor situada

¹⁵ Las estaciones correspondientes Azores, Madeira y Cabo Verde están tratadas de 1980 a 2004 con la información extraída de Marzol *et al.*, 2006.

para recibir las borrascas del frente polar que el resto de los archipiélagos de la Macaronesia, por lo que se trata de un espacio relativamente lluvioso, tanto en los valores diarios como los totales anuales, con una pluviosidad media anual comprendida entre los 1.300 y 1.500 mm (Tabla 4). Además, esta precipitación presenta una marcada regularidad interanual en el contexto de los archipiélagos analizados, distribuyéndose aproximadamente en el 45% de los días del año y con los coeficientes de variación (CV) más bajos de todos los archipiélagos (Tabla 4). Estos rasgos oceánicos también son responsables de que Azores presente temperaturas suaves, superiores a las que le correspondería por su latitud, debido a los efectos producidos por la corriente cálida del Golfo que baña sus costas.

Madeira junto con Azores presentan valores pluviométricos muy similares y superiores a Canarias y Cabo Verde, próximos a los 3.000 mm en sectores de cumbre (Tabla 4). Sin embargo, la menor latitud, provoca que Madeira muestre una precipitación más irregular, aunque si analizamos los valores máximos diarios registrados, estos son muy significativos y similares a Azores. En las cumbres de la isla de Madeira, en algunos puntos, se han rozado los 300 mm en 24 horas. Tal es el caso de la estación de Encumeada con 277 mm en diciembre de 1976 y Areeiro con 288 mm en febrero de 2010 (IPMA). Sin embargo, el clima de Madeira presenta rasgos mediterráneos al igual que Canarias, temperaturas suaves y una marcada estación seca en el verano, que difiere de Azores donde no existe una estacionalidad tan marcada respecto a las precipitaciones. Así, en Azores las lluvias intensas con efecto de inundación se distribuyen durante una gran parte del año, pudiendo producir cualquier episodio torrencial grandes impactos sobre el territorio. Mientras que, para Cabo Verde, por ejemplo, la distribución anual de la precipitación, origina que la mayor posibilidad de que se registren lluvias torrenciales corresponde con el otoño y el verano (Marzol *et al.*, 2006).

El clima de Canarias, como el del resto de las islas macaronésicas, está directamente relacionado con la influencia de los vientos alisios. Al igual que en el caso de Madeira, el clima está condicionado por tres factores fundamentales: la latitud, que determina una dinámica atmosférica propia de climas subtropicales, a caballo entre el mundo cálido tropical y el mundo templado, el relieve, de una gran entidad, lo que propicia la aparición de muy diversos climas locales con una gran variedad en el reparto pluviométrico y valores termométricos, y la corriente oceánica fría que baña las costas y que, sobre todo durante el estío, impone la estabilidad atmosférica. Estos factores determinan

valores térmicos suaves; así las costas registran los valores medios anuales más elevados oscilando entre los 18°C y los 21°C; situándose en las medianías entre los 14°C y los 17°C y en las cumbres con temperaturas notablemente frías en invierno y promedios entorno a los 10°C. Respecto a las precipitaciones al igual que todos los archipiélagos el relieve determina el reparto espacial de las precipitaciones: las islas más llanas son considerablemente más secas (Fuerteventura, Lanzarote, Porto Santo, etc.) que las de altitudes importantes (Tenerife, La Palma, Madeira, etc.). Una precipitación que entre sus rasgos se caracteriza por su irregularidad, reflejada por unos altos coeficientes de variación (Tabla 4), así como su alta concentración temporal y espacial, unas características que comparte con los archipiélagos de Madeira y Cabo Verde. Concentración temporal pues la precipitación se registra en pocos días, por ejemplo, en Cabo Verde las precipitaciones se concentran en el 5% de los días del año (Marzol *et al.*, 2006). Y, concentración espacial, pues existen importantes variaciones en el territorio respecto a los registros pluviométricos tanto entre vertientes de una misma isla como altitudinalmente.

Estos rasgos climáticos, son responsables de la génesis de los riesgos de origen climático que se dan en los archipiélagos. Entre los derivados del clima destacan las precipitaciones intensas y torrenciales, los temporales de viento y las olas de calor que, además, son determinantes en la propagación de incendios forestales. Asimismo, en algunos de los archipiélagos también aparecen, puntualmente, los ciclones tropicales, sobre todo en Azores. Unos fenómenos extremos que, como analizaremos en el siguiente apartado, pueden presentarse en todas las islas y generar importantes efectos.

Otro aspecto a destacar, es el relacionado con las densidades de población de algunos espacios de la Macaronesia. En general son islas que presentan algunas de las concentraciones más altas de Europa (Tabla 3) como el caso de la isla de Gran Canaria con aproximadamente 555 hab/km², o el caso de Madeira con 502 hab/km². Pero, además, si se analizan únicamente las densidades urbanas, existen áreas como Santa Cruz de Tenerife con densidades de 5.048 hab/km² o municipios turísticos como el Puerto de la Cruz con 3.408 hab/km². Esta situación actual y análoga en otras islas como Gran Canaria, Madeira o São Miguel responde a una evolución demográfica acelerada desde las últimas décadas del siglo XX (García-Cruz, 2014), muy condicionada por factores externos de carácter socioeconómico como es el caso del desarrollo explosivo del turismo. Estas

circunstancias constatan el elevado grado de presión al que están sometidos gran parte de los espacios insulares de la Macaronesia.

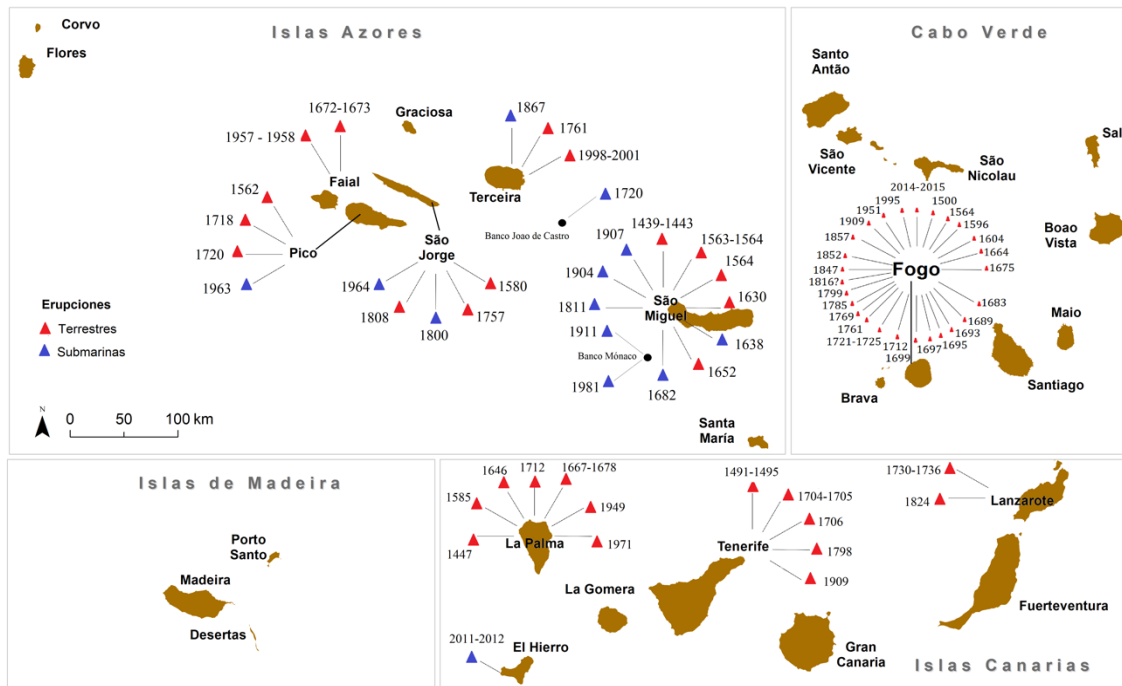
Los condicionantes naturales y, especialmente el clima, junto a otros factores de índole social como la seguridad y la estabilidad política, son los que han propiciado, a partir de los años 70, el desarrollo de un modelo económico basado en el turismo de masas (Dorta *et al.*, 2020). Se desplaza así el centro de gravedad de la actividad socioeconómica desde las medianías agrícolas hacia los sectores litorales como en el caso de Canarias. Este hecho ha dado lugar a economías basadas en el exterior y muy dependientes de un recurso como el clima que constituye el principal atractivo de las islas como destino turístico (Hernández-Martín *et al.*, 2012). Ya se ha señalado que las regiones insulares serán las primeras y más afectadas por el cambio climático (Barbosa *et al.*, 2017) algo que no será ajeno en nuestro contexto (Dorta *et al.*, 2018). La posibilidad de que eventos extremos aumenten su frecuencia representa, cada vez más, una amenaza para la vida y la propiedad. A este incremento de la peligrosidad también hay que añadirle un factor como la vulnerabilidad, la alta biodiversidad y la dependencia económica de un sector como el turismo dan lugar a una gran fragilidad territorial ante cualquier modificación en las condiciones climáticas. Por estos motivos las islas han de conformarse como auténticos laboratorios para el estudio del cambio climático (Tomé *et al.*, 2014; Petzold y Ratter, 2015), porque, por un lado, deben ser los primeros espacios que han de adaptarse (Betzold, 2015) y, por otro, porque pueden proporcionar lecciones claves para los esfuerzos en materia de acción climática en otros lugares.

1.5.2. El riesgo de desastres en la Macaronesia

Los archipiélagos de la Macaronesia, como ya se ha indicado, presentan rasgos geográficos muy similares, por lo que las amenazas de origen natural a las que están expuestas son análogas. Desde una perspectiva geológica, la actividad volcánica sigue presente en, al menos, tres de los archipiélagos (Azores, Canarias y Cabo Verde), se han producido un total de 68 erupciones en época histórica y reciente (Figura 11) (Torres *et al.*, 1997; Romero, 1991; Madeira, 2005; Ribeiro, 1960; GVP, 2018). Entre los últimos episodios sobresalen los procesos desarrollados en El Hierro en 2011 y en Fogo entre 2014 y 2015. A pesar de la frecuencia de las erupciones hay que señalar que, en general, en los últimos siglos

el dinamismo eruptivo se ha caracterizado por intensidades bajas o moderadas y, por tanto, daños muy limitados.

Figura 11. Localización de las erupciones volcánicas históricas en los archipiélagos de la Macaronesia



Fuente: GVP, 2018; Torres *et al.*, 1997; Romero, 1991; Madeira, 2005; Ribeiro, 1960; Dorta *et al.*, 2020.

Asociado al volcanismo se encuentra también la amenaza sísmica. Conviene subrayar que una gran parte de los terremotos que ocurren en los archipiélagos tienen su origen en los procesos volcanotectónicos. No obstante, también es posible, como en el caso de Azores debido a su ubicación entre tres placas tectónicas (Euroasiática, Africana y Norteamericana), encontrar puntualmente procesos sísmicos de carácter tectónico. En este sentido, Azores es el área de la región macaronésica con los sismos de mayor magnitud registrada, próximas a 7.0 en la Escala Richter. Es el caso de los terremotos de mayo de 1939 o enero de 1980. Por el contrario, archipiélagos como Madeira, Canarias y Cabo Verde, la actividad sísmica no suele poseer una gran importancia, tratándose comúnmente de sismos de baja intensidad, con magnitudes próximas a 5.0 como los de mayo de 1989 en Tenerife o el de septiembre de 1988 en Fogo. En muchas ocasiones esta sismicidad también es precursora de otra amenaza, los movimientos de ladera. Éstos son el riesgo de naturaleza geomorfológica más importante en los

archipiélagos de la Macaronesia, tanto por su frecuencia como por sus efectos territoriales. Estos procesos de dinámicas de vertiente se circunscriben principalmente a las áreas con mayores pendientes de las islas, como el Macizo de Anaga en Tenerife o la Caldera de Taburiente en La Palma. Asimismo, su desarrollo se vincula con una serie de factores condicionantes como las litologías o pendientes y desencadenantes, como la sismicidad y, sobre todo, los episodios de altas precipitaciones. Unas precipitaciones que han dado lugar a numerosos episodios como el acontecido en diciembre de 2009 en Terceira o el de febrero de 2010 en Tenerife, que ocasionó centenares de desprendimientos y deslizamientos de ladera (López-Díez *et al.*, 2015).

Una vez que hemos presentado de forma muy somera las principales amenazas geológicas y geomorfológicas, centraremos nuestra atención en los fenómenos extremos de origen climático, abordando un análisis e inventario de las especificidades de estos eventos en la Macaronesia.

En esta región, entre todas las amenazas de origen climático, son las inundaciones, de manera destacada, las que originan más daños y un elevado número de víctimas. Los episodios de precipitaciones intensas acontecidos en toda la Macaronesia, poseen un marcado carácter torrencial dando lugar, en algunos casos, a precipitaciones que rondan e incluso superan los 300 mm en 24 horas como en 1983 en la isla de Santiago (Cabo Verde), Ponta Delgada en San Miguel (Azores) en septiembre de 1997, Funchal (Madeira) en febrero de 2010 o Tenerife (Islas Canarias) en febrero de 1988. Estas precipitaciones máximas diarias, sumado a que se trata de unos territorios normalmente montañosos, pueden generar fuertes escorrentías que originan daños considerables, hasta tal punto de que prácticamente todos los años hay algún punto de los archipiélagos que sufre eventos graves de esta clase.

Azores y Canarias son los archipiélagos con un número mayor de referencias históricas e instrumentales de eventos extremos de precipitación. El archipiélago portugués cuenta con episodios significativos (Tabla 5) como el de Furnas en la isla de San Miguel en octubre de 1974 con 276 mm (IPMA) o en Santa María en septiembre de 1982 con 300 mm (NOAA). En el caso de Canarias, entre los episodios recientes más destacados figuran las lluvias que han afectado a zonas urbanas y, en ocasiones, turísticas como las trabajadas en esta investigación. Respecto a las áreas turísticas sobresalen dos episodios el de diciembre de 2013

en el suroeste de Tenerife, donde se registraron 158 mm y cuantiosos daños materiales y el evento de noviembre de 2001 en el sur de Gran Canaria con más de 4,5 millones de euros en daños (López *et al.*, 2019). Estos eventos, aunque importantes, han sido ampliamente sobrepasados por otros sucesos acontecidos en las principales áreas urbanas del archipiélago canario. En este sentido, los dos máximos exponentes han sido las precipitaciones de febrero de 1989 en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria y las de marzo de 2002 en Santa Cruz de Tenerife. En el primero se superaron los 150 mm en algunos puntos del área metropolitana de la ciudad y los daños fueron muy cuantiosos (Máyer, 2003). El segundo, tuvo aún peores consecuencias, ocasionando nueve fallecidos con precipitaciones cercanas a los 250 mm y pérdidas valoradas en más de 200 millones de euros (López *et al.*, 2018).

El número de incidencias por inundaciones en los archipiélagos de Madeira y Cabo Verde también es significativo (Tabla 5). En este sentido, merece la pena reseñar, en función de los daños, el evento de septiembre de 2012 en la isla de Sal, donde se registraron más de 240 mm en menos de 24 horas. Pero, sin duda, los episodios del 1 y 20 de febrero de 2010 en Madeira marcaron un hito histórico (Figura 12). En ese mes se superó el valor máximo registrado en el observatorio de Funchal por dos veces (IPMA, 2010), siendo el evento del 1 de febrero uno de los episodios con consecuencias más graves en la historia reciente del archipiélago. Según las fuentes se registraron hasta 45 muertos, 6 desaparecidos (Fragoso *et al.*, 2012) y más de 100 heridos lo que lo sitúan en uno de los desastres de origen climático más importantes en la historia de la Macaronesia.

Figura 12. Episodio de inundación del 1 de febrero en Funchal, Madeira



Fuente. UNDRR

Tabla 5. Principales episodios de precipitación con efecto de inundación en la Macaronesia¹⁶

	Fecha	Área afectada	Fecha	Área afectada
AZORES	Febrero 1588	Terceira	Enero 1856	San Jorge
	Febrero 1606	San Jorge	Agosto 1857	Archipiélago (FT)
	Febrero 1608	Terceira	Agosto 1893	Archipiélago (FT)
	Agosto 1637	Archipiélago (FT)	Febrero 1899	San Jorge
	1649	Terceira	Octubre 1899	Archipiélago (FT)
	Diciembre 1713	San Jorge	Octubre 1974	San Miguel
	Diciembre 1732	San Jorge	Junio 1995	Flores
	Octubre 1744	Archipiélago (FT)	Noviembre 1995	Archipiélago (FT)
	Septiembre 1761	Archipiélago (FT)	Agosto 2006	Archipiélago (FT)
	Septiembre 1779	Archipiélago (FT)	Septiembre 2006	Archipiélago (FT)
	Enero 1792	San Jorge	Agosto 2006	Archipiélago (FT)
	Diciembre 1811	Archipiélago	Marzo 2013	San Miguel
MADEIRA	Octubre 1803	Madeira	Octubre 1993	Madeira
	Marzo 1929	Madeira	Marzo 2001	Madeira
	Diciembre 1939	Madeira	Diciembre 2009	Madeira
	Septiembre 1972	Madeira	Febrero 2010	Madeira
	Diciembre 1976	Madeira	Octubre 2010	Madeira
	Enero 1979	Madeira	Abril 2017	Madeira
CANARIAS	Noviembre 1826	Archipiélago (FT)	Enero 2000	Gran Canaria
	Noviembre 1950	Archipiélago	Noviembre 2000	Tenerife
	Enero 1957	La Palma	Noviembre 2001	Gran Canaria y La Palma
	Noviembre 1968	Tenerife	Marzo 2002	Tenerife
	Diciembre 1975	Archipiélago (FT)	Enero 2007	Archipiélago
	Abril 1977	Tenerife	Noviembre 2009	Tenerife
	Enero 1980	Lanzarote	Febrero 2010	Archipiélago
	Febrero 1988	El Hierro y La Palma	Octubre 2014	Tenerife
Febrero 1989	Gran Canaria	Octubre 2015	Gran Canaria	
CABO VERDE	Marzo 1973	Sal	Enero 2002	Sal
	Febrero 1979	Sal	Agosto 2005	Santiago
	Septiembre 1983	Santiago	Febrero 2006	Santiago
	Julio 1991	Sal	Febrero 2011	Sal
	Marzo 1992	Sal	Septiembre 2012	Sal
	Mayo 1994	Sal	Septiembre 2014	Santiago
	Febrero 1995	Sal	Agosto 2015	Archipiélago (FT)
	Octubre 2000	Santiago	Septiembre 2016	Santo Antao

Fuente: AEMET, IPMA, NOAA, Marzol, 1988^a, Máyer, 2003, Fragoso *et al.*, 2012, Dorta, 2007. Elaboración propia. FT: Fenómeno Tropical.

Un elemento a tener en cuenta en el desencadenamiento de precipitaciones abundantes es el paso de huracanes y tormentas tropicales. Algunos fenómenos tropicales sufren variaciones en sus trayectorias desde su origen al sur de Cabo Verde, afectando, en ocasiones, a algunos de los archipiélagos. A este respecto,

¹⁶ El número de eventos de inundación en Canarias documentado es muy elevado por lo que este cuadro sólo refleja aquellos más representativos.

existe una clara disimetría entre archipiélagos, siendo Azores, por su posición, donde constituyen un riesgo más frecuente. Esto produce múltiples impactos, tanto humanos como económicos y ambientales. Existen registros de ciclones tropicales (Tabla 5) que han afectado al archipiélago desde 1637 hasta la actualidad. Por el contrario, la afección en el resto de archipiélagos ha sido mucho menor. En el caso de Canarias se disponen de varios registros de tormentas tropicales como las de 1975 o Delta en 2005 aunque, sin duda, el episodio más destacado son las fuertes precipitaciones de 1826 que dejaron centenares de muertos (Bethencourt y Dorta, 2010) siendo éste el peor desastre de origen natural de la historia del archipiélago. Al igual que en Canarias, Cabo Verde no suele verse afectado por el paso de este tipo de fenómenos. No obstante, muy excepcionalmente, se desarrollan trayectorias que propician su paso por el archipiélago, bien sea como tormentas tropicales o con categorías bajas de huracanes como fue el huracán Fred de 2015. Hay que llegar hasta 1892 para encontrar un precedente.

Figura 13. Trayectoria y efectos de la tormenta tropical Delta, 2005



Fuente: Centro Nacional de Huracanes (NOAA, *Best Track Data*) y Diario de Avisos.

Además de las inundaciones, las perturbaciones tropicales también originan una serie de riesgos asociados como los temporales costeros y los vientos fuertes. Si bien es importante destacar que el origen de estos riesgos es diverso e incluso lo más habitual es que se produzcan por la llegada de borrascas, relativamente profundas a las islas. Sin embargo, las rachas máximas alcanzadas en los archipiélagos se han producido con la llegada de fenómenos tropicales. En el caso de Azores uno de los más destacados fue el huracán Tanya, que se desarrolló entre los días 27 de octubre y 1 de noviembre de 1995, aunque tocó las Azores ya como tormenta tropical. Las rachas máximas de viento llegaron a rozar los 170 km/h en

Terceira. Vientos similares también se alcanzaron al paso del ciclón tropical Gordon en agosto de 2006, que llegó a alcanzar la categoría 2 en la escala de Saffir Simpson. Otro buen ejemplo es el ya mencionado Huracán Fred en 2015, con categoría 1 que a su paso por el Cabo Verde dio lugar a rachas de viento de hasta 140 km/h.

En el caso de Canarias, incluso se han dado registros superiores a los anteriormente citados con las tormentas tropicales de diciembre de 1975 y noviembre de 2005 (Tabla 6 y Figura 13). En este último evento, la tormenta tropical Delta, se alcanzaron los 248 km/h, dando lugar a graves efectos, especialmente en vías de comunicación y suministro de servicios esenciales como electricidad y agua, ocasionando pérdidas de unos 88 millones de euros (López *et al.*, 2019).

Tabla 6. Principales temporales de viento en Canarias

Fecha	Vel. máx. (km/h)	Observatorio
22/3/1960	122	Aerop. Los Rodeos
8/4/1968	108	Puerto del Rosario-Los Estancos
3/1/1970	94	Aerop. Gran Canaria
7/3/1974	144	Aerop. La Palma
14/12/1975	216/162	Izaña-Santa Cruz de Tenerife
4/2/1976	128	Santa Cruz de Tenerife
17/1/1977	104	Santa Cruz de Tenerife
6/1/1979	200	Izaña
15/12/1984	98	Aerop. Reina Sofía
12/2/1989	197	Izaña
18/1/1991	133	Aerop. Los Rodeos
17-18/01/1994	201	Izaña
21/12/1996	135	Aerop. La Palma
15/4/2000	102	Aerop. La Palma
21-22/12/2000	113	Aerop. La Palma
19-20/02/ 2004	113	Aerop. La Palma
24-27/02/2005	121	Aerop. La Palma
28-29/11/2005	248/147	Izaña-Aerop. Los Rodeos
18/2/2010	139	Aerop. La Palma
23/2/2020	163	Izaña

Fuente: AEMET. Elaboración propia

Los temporales de viento, muchas veces asociados a inestabilidad generalizada y, por tanto, también a precipitaciones intensas, suponen un destacado impedimento en determinadas actividades, muchas de ellas relacionadas con el turismo. En ocasiones, también están relacionados con temporales marinos que generan graves daños en las costas de las islas. Son muy numerosos los ejemplos que, ocasionalmente, dan lugar a graves daños materiales (Tabla 7). Entre ellos destaca el evento de enero de 1999 con oleaje de más de 5 metros y de dirección primordialmente Este (Rodríguez-Báez *et al.*, 2017). Asimismo, en Azores, las borrascas más profundas especialmente entre finales del otoño y principios de la primavera también generan fuertes temporales marinos. De estos últimos encontramos un gran número de episodios en la Isla de San Jorge, en la localidad de Velas, cuya configuración topográfica es muy propicia a la incursión del mar hacia el interior de la localidad.

Tabla 7. Algunos de los principales temporales costeros en Canarias

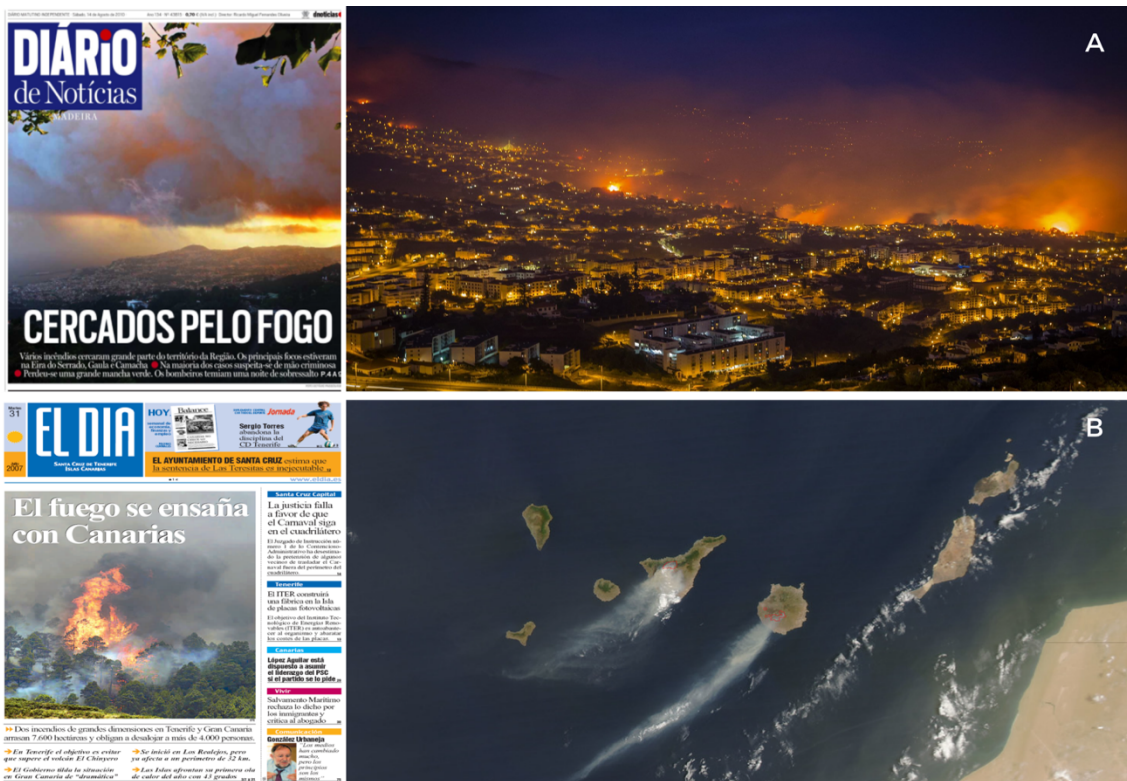
Fecha	Origen	Área afectada
1/1/1994	Borrasca profunda	Archipiélago
8/1/1999	Borrasca profunda	Archipiélago
13/4/2003	Borrasca profunda	Norte de Tenerife
4/1/2008	Borrasca profunda	Archipiélago
28-29/8/2011	Sobreelevación del nivel del mar por marea y mar de fondo	Sectores de Santa Cruz de Tenerife
5/2/2012	Borrasca profunda	Archipiélago
6-8/1/2014	Borrasca profunda	Archipiélago
17/11/2018	Borrasca profunda	Norte de Tenerife
16/12/2019	Borrasca profunda	Norte de Tenerife

Fuente: Puertos del Estado; Rodríguez-Báez, *et al.*, 2017; Prensa.

Uno de los rasgos esenciales del clima de los archipiélagos es la suavidad de las temperaturas y su moderada amplitud térmica. Unas características que, en ocasiones, son interrumpidas por episodios extremos que desencadenan las olas de calor. El incremento de las temperaturas máximas y mínimas, está vinculado con la presencia de aire continental proveniente de la masa cálida sahariana, esto provoca un incremento en las temperaturas que se prolonga durante un número determinado de días, rondando incluso en determinados episodios valores entorno a los 40°C para el caso de las máximas y los 25°C en el caso de las temperaturas mínimas nocturnas. No obstante, esta caracterización general presenta algunos matices entre archipiélagos. La posición de Azores, muy alejada de manantiales de aire tropical continental hace que las olas de calor apenas

tengan relevancia, como lo pone de manifiesto que las temperaturas máximas absolutas, según las islas, se hayan limitado a valores que raramente superan los 32°C a 35°C. Es muy poco frecuente que se originen olas de calor con la suficiente importancia como para producir efectos adversos sobre las personas o el medio ambiente. Por ello, las temperaturas de este archipiélago nada tienen que ver con las registradas en Cabo Verde, Madeira y Canarias, que llegan a superar ampliamente los 35°C con una acusada severidad en los meses estivales en el caso de Madeira y las Islas Canarias, mientras que en Cabo Verde éstas presentan unos máximos de incidencia comprendidos entre agosto y noviembre. Además, en época reciente, las olas de calor han contribuido de manera decisiva al desarrollo de otro riesgo, los incendios forestales. Éstos constituyen uno de los mayores riesgos en los archipiélagos de Madeira y Canarias, causando grandes pérdidas tanto económicas, como ambientales, como, en ocasiones, humanas.

Figura 14. Incendios de 2007 (Islas Canarias) y 2016 (Madeira)



A) Incendio de agosto 2016 en Madeira B) Imagen satelital que muestra dos de los incendios simultáneos de julio de 2007. Fuentes: Diario de Noticias y El Día, NASA-EODIS.

La generación de este tipo de fenómenos está muy asociado a las condiciones meteorológicas, generalmente bajas humedades relativas, temperaturas elevadas y vientos fuertes, a lo que hay que añadir, además, la extensa masa forestal que recubre algunas de las islas, lo que propicia la presencia de gran cantidad de material combustible. En el caso de Madeira, entre 2000 y 2010 se han registrado un total de 73 incendios forestales (Fernandes, 2010). En este sentido destacan dos eventos, el primero producido el 13 de agosto de 2010, en el cual se quemó aproximadamente el 11% de la superficie de la isla, y el segundo el acontecido en época más reciente, en agosto de 2016. La principal singularidad de este último es la llegada del fuego al casco urbano de Funchal a pesar de haber comenzado como un incendio propiamente forestal. El balance de víctimas fue de cuatro muertos y más de 1000 desplazados, además de cuantiosos daños económicos.

Tabla 8. Algunas de las principales olas de calor en Canarias

Fecha	Valores extremos	Daños destacados
jul-52	44.2°C (Aerop. Gran Canaria)	
jul-61	40.4°C (Tenerife) <i>Santa Cruz de Tenerife</i>	
ago-66	41.2°C (Aerop. Los Rodeos)	
jul-67	44.0°C (Aerop. Fuerteventura)	
jul-75	43.0 (Aerop. Fuerteventura)	
jul-79	40.6°C (Santa Cruz de Tenerife)	
ago-80	43.6 (Aerop. Lanzarote)	
jul-82	42.6 (Aerop. Reina Sofía)	
sept-86	41.8 (Aerop. Reina Sofía)	
ago-88	44.3 (Aerop. Reina Sofía)	
jul-94	41.3 (Aerop. Lanzarote)	
jul-04	42.9 (Aerop. Lanzarote)	
jul-07	42.9 (Aerop. Reina Sofía)	Incendios en Gran Canaria, Tenerife y La Gomera
jul-09	42.4 (Aerop. Reina Sofía)	Incendio en La Palma
jun-12	42.6 (Gran Canaria) <i>San Nicolás de Tolentino</i>	
may-15	42.6°C (Aerop. Lanzarote)	
ago-16	38.9°C (Aerop Lanzarote)	Incendio en La Palma
ago-19	42.0 (Gran Canaria) <i>San Nicolás de Tolentino</i>	Incendios en Gran Canaria

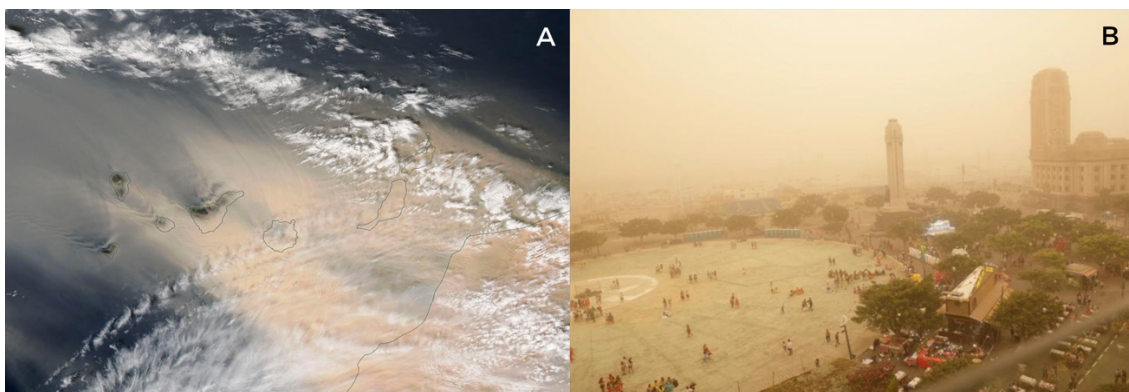
Fuente : AEMET ; Bethencourt y Dorta, 2010 ; Marzol, 1988a ; Máyer, 2003 ; Máyer et al., 2006a ; Dorta, 2007). Elaboración propia

Al igual que en el caso de Madeira, en las últimas décadas en Canarias son numerosos los grandes incendios forestales vinculados a intensas olas de calor (Tabla 8). Son tristemente célebres los incendios de 2009, 2012, 2016, 2017 y 2020.

Sin embargo, de entre todos estos episodios destacan los de los años 2007, donde ardieron más de 35.000 Has., en tres islas de manera simultánea, convirtiéndose en el peor incendio forestal en la historia de Canarias y el de mayores dimensiones de España ese año.

Asociados a las advecciones de masas de aire sahariano llegan en ocasiones a las islas densas nubes de polvo. La calima, como riesgo, tiene repercusiones, sobre todo en enfermos crónicos con patologías de tipo respiratorio (Rodríguez *et al.*, 2019), pero su afección es más evidente en la pérdida de visibilidad, lo que puede provocar el cierre de algunos aeropuertos como ocurrió con el episodio de febrero de 2020 en Canarias. Este riesgo aparece de forma muy atenuada y, sólo puntualmente en los archipiélagos de Azores y Madeira, debido a esa mayor lejanía respecto al desierto del Sáhara, por lo que este riesgo no suele presentar mayores efectos en estas dos regiones.

Figura 15. Episodio de calima del 23 de febrero de 2020 en Canarias



A) Imagen satelital de la calima sobre Canarias B) Impacto del episodio en Santa Cruz de Tenerife, con concentraciones PM10 registradas superiores a 1600 ug/m³ Canarias⁷. Fuentes: NASA-EOSDIS y Canarias⁷.

Por el contrario, en las Islas Canarias y Cabo Verde es un proceso bastante más frecuente. La incursión de este tipo de episodios es mucho más habitual en invierno (Dorta *et al.*, 2005; Dorta *et al.*, 2007), aunque cabe remarcar que pueden producirse en cualquier época del año. Su intensidad puede ser tal que, en los casos más extremos, la visibilidad se sitúe por debajo de los 100 metros. Aunque estos casos son excepcionales se repiten con una cierta asiduidad. Entre los episodios más destacados en las Islas Canarias destacan los de febrero y octubre de 1998, febrero de 1999, enero de 2002, febrero y marzo de 2004, enero de 2008,

diciembre de 2014 o, el ya citado, de febrero de 2020 (Figura 12). Superándose en la mayor parte de estos eventos los 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en alguno de los sensores de inmisión que hay repartidos por las islas.

En definitiva, las amenazas de origen climático han producido importantes desastres en las islas originando múltiples efectos socioterritoriales que ponen de manifiesto la alta exposición y vulnerabilidad de territorios tan densamente poblados. Estos riesgos, aunque presentes en todas las islas presentan variaciones tanto en su intensidad como en su estacionalidad como se ha expuesto durante este apartado (Tabla 9).

Tabla 9. Calendario aproximado de riesgos climáticos en la Macaronesia

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AZORES	Ola de calor												
	Temporal de viento												
	Calima												
	Inundaciones												
	Ciclones tropicales												
MADEIRA	Ola de calor												
	Temporal de viento												
	Calima												
	Inundaciones												
	Ciclones tropicales												
CABO VERDE	Ola de calor												
	Temporal de viento												
	Calima												
	Inundaciones												
	Ciclones tropicales												
ISLAS CANARIAS	Ola de calor												
	Temporal de viento												
	Calima												
	Inundaciones												
	Ciclones tropicales												
Nivel de riesgo													

Elaboración propia

I.5.3. Los archipiélagos macaronésicos como actuales potencias turísticas

Ya se ha señalado la importancia del turismo en la economía de la Macaronesia, constituyendo una fuente de ingresos muy notable para algunas de las islas de la región. A este respecto el 20% del PIB en los archipiélagos de Cabo Verde y Madeira depende directamente del turismo, una cifra que asciende hasta el 34% en el caso de las Islas Canarias (Dorta *et al.*, 2020). Unos valores que vienen determinados por los más de 18,1 millones de turistas que visitaron los

archipiélagos en 2019 (Tabla 10). Estos datos atestiguan la alta vulnerabilidad del sector y de los turistas ante cualquier situación de estrés como las derivadas de los fenómenos extremos (Becken y Hughey, 2013) que vimos en el apartado anterior. Suponiendo una doble problemática, no sólo desde la perspectiva económica sino también desde el punto de la integridad física de las personas.

A pesar de la indudable relevancia del turismo en la región, existen grandes diferencias entre los archipiélagos y también entre las islas (Tabla 10). Canarias, por su evolución histórica y condicionantes físicos y socioeconómicos se ha convertido en la región de mayor progreso en este sentido, representando el 83,1% del total de los turistas. Azores y Cabo Verde son los archipiélagos menos exitosos en los que actividad turística se refiere, debido a una explotación más reciente (Calado *et al.*, 2011). Las diferencias por islas también son reveladoras, el turismo en Azores y Madeira se concentra casi en su totalidad en las islas de São Miguel y la isla de Madeira, con un 64,2% y 93,4% respectivamente. Por el contrario, Canarias y Cabo Verde presentan un reparto más equilibrado, aunque con la presencia de islas que experimentan una actividad turística muy limitada como es el caso de Fogo en Cabo Verde o La Gomera y El Hierro en Canarias.

Además, entre los cuatro archipiélagos estudiados también hay divergencias respecto al modelo turístico. La distinta evolución socioeconómica y las diferencias físicas entre los archipiélagos han determinado algunos contrastes en el desarrollo de esta actividad. En Madeira, Canarias y Cabo Verde es evidente el predominio del turismo de sol y playa y casi la totalidad de los núcleos turísticos y por tanto de la oferta alojativa se sitúan en el frente litoral. En Azores, precisamente por sus condiciones climáticas de mayor pluviometría y temperaturas más bajas la actividad turística no ha estado tan dirigida al turismo costero de sol y playa.

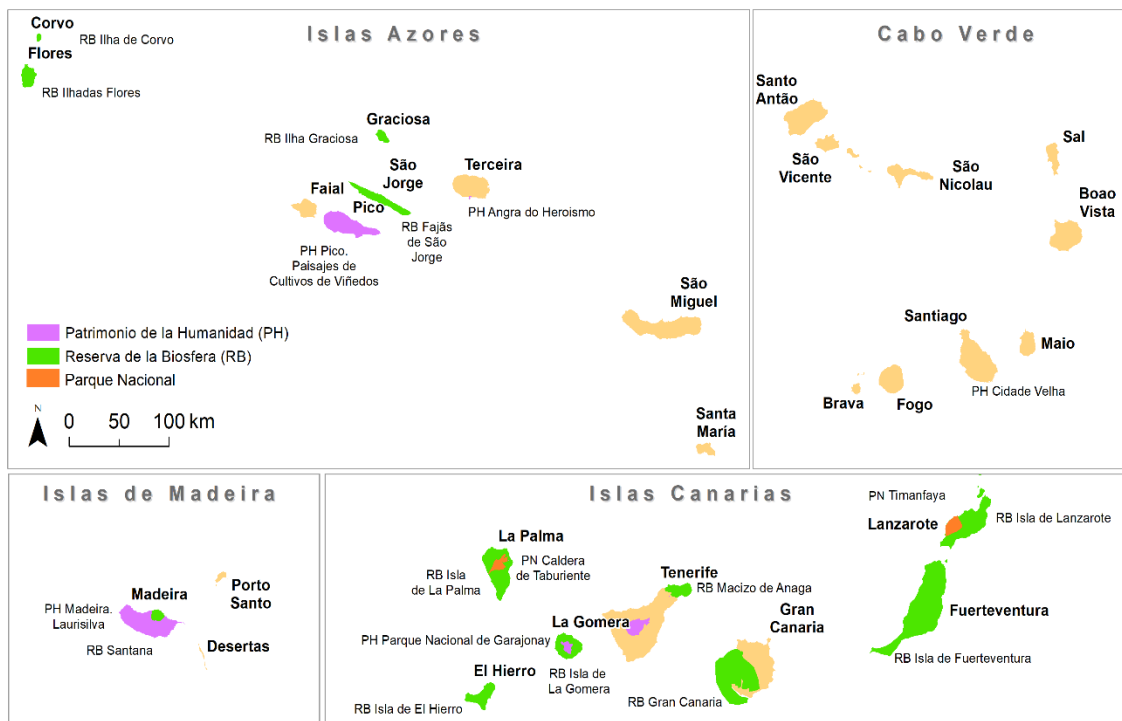
Tabla 10. Total de turistas por archipiélago en 2019

	Isla	Total de turistas	% Respecto al total
AZORES	São Miguel	623909	64,2
	Pico	57704	5,9
	Terceira	143523	14,8
	São Jorge	23439	2,4
	Faial	79390	8,2
	Flores	17960	1,8
	Santa Maria	16456	1,7
	Graciosa	7946	0,8
	Corvo	1243	0,1
	Total	971570	100
MADEIRA	Madeira	1295965	93,4
	Porto Santo	91974	6,6
	Desertas	n/c	n/c
	Salvajes	n/c	n/c
	Total	1387939	100
CANARIAS	Tenerife	5729162	38,0
	Fuerteventura	1894946	12,6
	Gran Canaria	4189013	27,7
	Lanzarote	2913037	19,3
	La Palma	257852	1,7
	La Gomera	104417	0,7
	El Hierro	7158	0,05
	La Graciosa	n/c	n/c
	Alegranza	n/c	n/c
	Lobos	n/c	n/c
	Montaña Clara	n/c	n/c
Total	15095585	100	
CABO VERDE	Santiago	78385	10,9
	Santo Antão	26080	3,6
	Boa Vista	206614	28,8
	Fogo	11920	1,7
	São Nicolau	1841	0,3
	Maio	1669	0,2
	São Vicente	45472	6,3
	Sal	343211	47,9
	Brava	1583	0,2
	Santa Luzía	n/c	n/c
	Raso	n/c	n/c
	Branco	n/c	n/c
Total	716775	100	

Fuente: SREA (Azores), (INE.CV) (Cabo Verde), INE.pt (Madeira), ISTAC (Canarias)
Elaboración Propia

No obstante, se puede afirmar que el clima es el elemento de mayor atracción por parte de los turistas que visitan la Macaronesia, más aún si tenemos en consideración el contraste climático respecto a los principales países emisores (Ej: Alemania y Reino Unido). Este hecho sumado a la gran diversidad de paisajes y a la estabilidad sociopolítica de los archipiélagos propician un destino óptimo. Como se ha señalado, en general, la mayor parte de los visitantes de los cuatro archipiélagos se desplazan hasta las islas por el sol y la playa. De igual modo, es importante destacar que todas las islas muestran importantes atractivos, además del clima como es el caso de los culturales o artísticos y los naturales. Entre esos atractivos destacan los espacios protegidos, especialmente importantes las figuras de parque nacional y reservas de la biosfera, y también los patrimonios de la humanidad de la Unesco (Figura 16). Algunos de esos lugares sufren una enorme presión de visitantes, esencialmente los Parques Nacionales de las islas más turísticas como es El Teide en Tenerife y Timanfaya en Lanzarote, con 4,3 y 1,7 millones de visitantes respectivamente (MITECO, 2018).

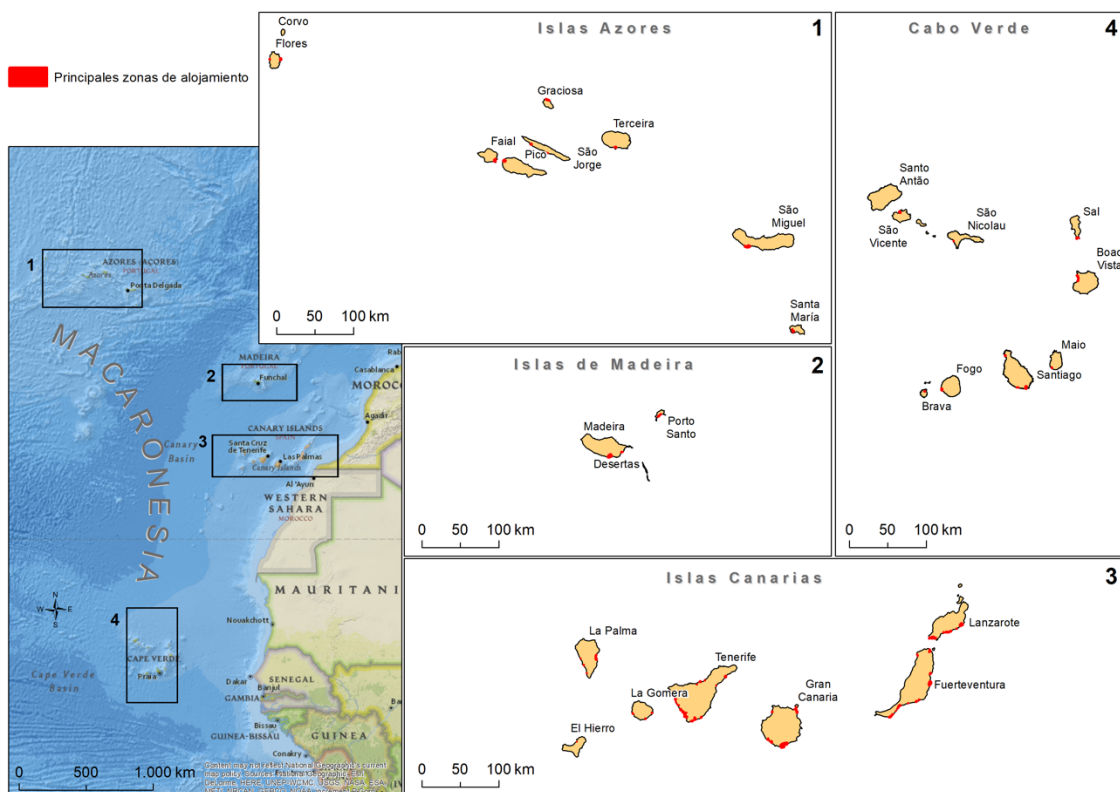
Figura 16. Principales espacios de reconocimiento internacional por su valor natural o artístico y cultural (Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera, Patrimonios de la Humanidad)



Fuente: MAPAMA y Unesco (reservas de la Biosfera y Patrimonio de la Humanidad). Fuente: Dorta *et al.*, 2020.

Además de estos espacios catalogados existen numerosos puntos de algunas de las islas con una alta concentración de visitantes por sus atractivos paisajísticos, estéticos y comerciales, como puede ser el caso de los mercados rurales o de espacios de ocio. Algunos de estos lugares reciben decenas de miles de visitas todos los años. Es el caso de los barrancos de Masca y del Infierno en Tenerife, o el Pico do Ariario en Madeira (Tabla 11). A pesar de las condiciones climáticas y los atractivos señalados la concentración de los flujos turísticos varía de manera considerable, como ya hemos mencionado, entre las islas de cada archipiélago (Tabla 10). Entre las más visitadas de toda la Macaronesia se encuentran las cuatro islas más orientales de Canarias (Tenerife, Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura), las dos más orientales de Cabo Verde (Boa Vista y Sal), Madeira, y São Miguel y Terceira en Azores. Asimismo, en el litoral de estas islas se sitúan los sectores sobre los que se emplazan los principales alojamientos turísticos (Figura 17) que, además, son las áreas más expuestas a fenómenos extremos como las inundaciones (Díaz-Pacheco *et al.*, 2019^a).

Figura 17. Localización de los principales sectores de alojamiento en las islas de la Macaronesia



Elaboración propia

Tabla 11. Lugares más visitados (sin categoría reconocida a escala internacional) y de mayor interés según el portal de turismo *TripAdvisor* en 2019

Denominación	Isla	Archipiélago
Barranco del Infierno	Tenerife	Canarias
Barranco de Masca	Tenerife	Canarias
Loro Parque	Tenerife	Canarias
Siam Park	Tenerife	Canarias
Parque Natural de Corralejo	Fuerteventura	Canarias
Cueva del Viento	Tenerife	Canarias
Playa de Las Canteras	Gran Canaria	Canarias
Playa de Cofete	Fuerteventura	Canarias
Fundación Cesar Manrique	Lanzarote	Canarias
Pico de Arieiro	Madeira	Madeira
Ponta de SanLourenço	Madeira	Madeira
Cabo Girao	Madeira	Madeira
Monte Palace Tropical Garden	Madeira	Madeira
Levada Caldeirao Verde	Madeira	Madeira
Praia de Santa Maria	Sal	Cabo Verde
Praia de Santa Monica	Boa Vista	Cabo Verde
Praia de Chaves	Boa Vista	Cabo Verde
Pedra Lume Salt	Sal	Cabo Verde
Deserto de Viana	Boa Vista	Cabo Verde
Buracona Olho Azul	Sal	Cabo Verde
Pico Do Fogo	Fogo	Cabo Verde
Caldeira das Sete Cidades	SanMiguel	Azores
Lagoa do Fogo	SanMiguel	Azores
Poca Da Dona Beija	SanMiguel	Azores
Parque de Terra Nostra	SanMiguel	Azores
Capelinhos	Faial	Azores
Algar do Carvao	Terceira	Azores
Caldeira	Faial	Azores
Furnas	SanMiguel	Azores

Fuente: *TripAdvisor*. Elaboración propia

En esa diferencia entre archipiélagos, ya señalada, en el desarrollo turístico de la Macaronesia conviene realizar algunas aportaciones sobre el sector turístico en las Islas Canarias, el archipiélago que concentra la mayoría de los visitantes. No obstante, es necesario resaltar que la caracterización turística del resto de los

archipiélagos está contenida en el trabajo del bloque II “Turismo y amenazas de origen natural en la Macaronesia. Análisis Comparado” que afronta algunas de las preguntas de investigación y de los objetivos promulgados en esta tesis.

Los 15 millones de visitantes que visitaron las Islas Canarias en 2019, convierte en la actualidad al archipiélago canario en uno de los principales destinos turísticos del mundo. Canarias, si fuese un país se situaría aproximadamente en el puesto 25 del mundo por visitantes extranjeros en 2019 (IBRD, 2019). Posee un volumen de turistas similar al de Argentina, Brasil y Chile juntos, más turistas extranjeros que Croacia, Indonesia o La India y el doble que toda Australia (IBRD, 2019). Además, en las islas de Lanzarote y Fuerteventura el número de visitantes por residente registra una ratio de 30 a 1, un valor excepcional a escala mundial. Este volumen de turistas supone una cifra muy destacada en el conjunto nacional de manera que casi el 16% de los turistas extranjeros que visitan España llegan a las islas Canarias (INE, 2019), situándose tan sólo por detrás de Cataluña (PROMOTUR, 2018). Asimismo, si se compara con los demás archipiélagos macaronésicos, las Islas Canarias registran aproximadamente 20 veces más turistas que Cabo Verde y 10 veces más que Madeira y Azores (Tabla 10).

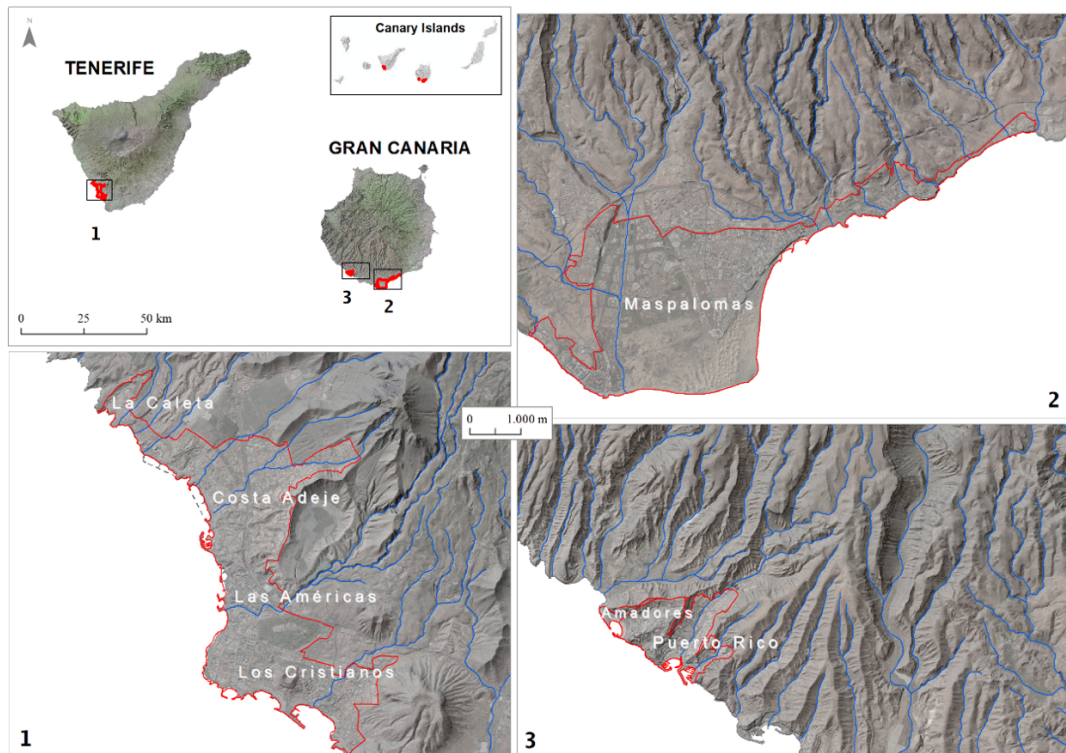
En este contexto el sector turístico en Canarias, en comparación con Azores y Cabo Verde, tiene una historia extensa. Son numerosas las visitas de viajeros en los siglos XVIII y XIX atraídos por las especiales condiciones climáticas del archipiélago, algo que también ocurrió en Madeira. En un primer momento con fines médicos para la mejora de determinadas enfermedades pulmonares y bronquiales, reumatismo, etc., convirtiéndose el archipiélago en un relevante centro de turismo terapéutico (González-Lemus, *et al.*, 2012). Estos primeros núcleos turísticos se localizaron en el norte de las islas más pobladas, Las Palmas y Santa Brígida en Gran Canaria y el Puerto de la Orotava -hoy Puerto de la Cruz- en Tenerife, de manera que, por ejemplo, a partir de 1885 comenzaron a surgir algunos centros hoteleros en el norte de Tenerife (González-Lemus, 1997). En 1912 ya visitaban el archipiélago 10.000 personas (Vera-Galván, 1985). En 1935, el geógrafo francés E. Aubert de la Rüe señala que las islas Canarias se eligen como lugar de reposo y veraneo. Y desde antes de la Primera Guerra Mundial se comenzó a desarrollar un tráfico de algunas empresas navieras británicas que, aprovechando el transporte de frutas, acercaban a numerosos viajeros hasta las islas, iniciándose así el turismo marítimo (Martín-Ruiz, 2001).

A lo largo de la segunda mitad del Siglo XX el número de visitantes se incrementa, en principio con poco vigor, pero entre los años 60 y 70, con el importante impulso de la aviación comercial y, sobre todo a partir de los 80, con aumentos muy sustanciales (García-Cruz, 2014). En un primer momento son los sectores del norte de las islas, como se ha citado, los que presentan un mayor progreso, sobre todo El Puerto de La Cruz y Las Palmas de Gran Canaria. Desde los años 80 es el Sur de las islas de Tenerife y Gran Canaria y, posteriormente, Fuerteventura y Lanzarote los territorios en los que se produce un incremento en la última década del siglo XX. Sólo recientemente, y a mucha menor escala, se incorporan La Gomera y La Palma y, marginalmente, y con un gran peso del turismo rural, la isla de El Hierro. En cualquier caso, estas tres últimas islas poseen números que no son comparables con las cuatro más orientales (Tabla 10).

En el año 2000 Canarias ya recibía casi 10 millones de visitantes extranjeros. Sin embargo, los datos se mantienen estabilizados durante prácticamente una década (9,2 millones en 2008) que terminó con un pronunciado descenso en 2009 con 8 millones de turistas. A partir del año siguiente la recuperación se hace más que evidente al rozar los 13,5 millones de extranjeros en 2016 (PROMOTUR, 2018), lo que supuso un aumento con respecto al año anterior de un 14%. Un aumento que se ha consolidado hasta 2019 con un total de 15 millones de turistas.

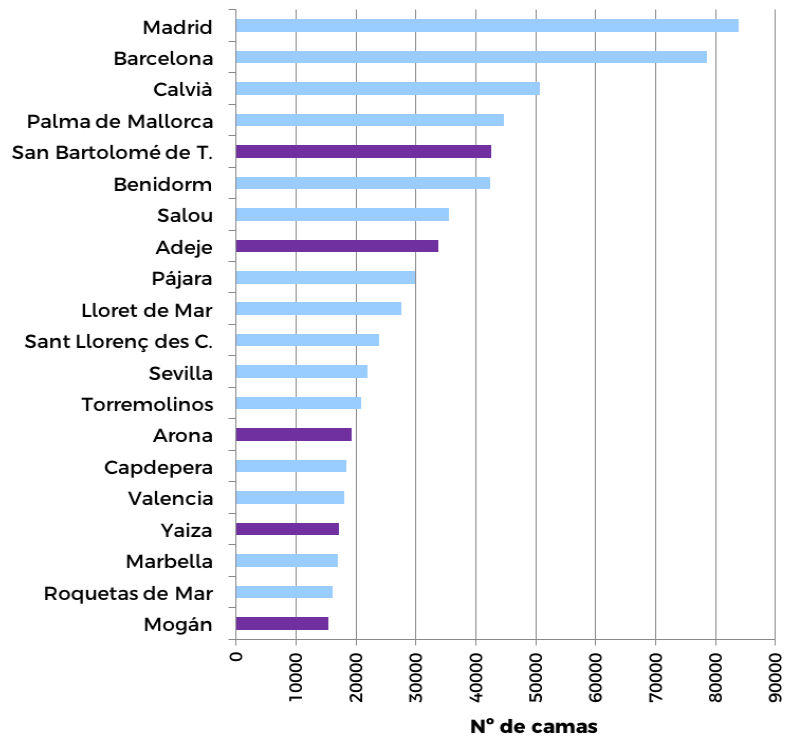
A este respecto, del total de turistas que pasaron en 2019 por Canarias el 66% lo hicieron en Tenerife y Gran Canaria, hospedándose, la mayoría de ellos, en las urbanizaciones turísticas del litoral S y SO de ambas islas. Es decir, más de la mitad de los visitantes que llegaron a Canarias se hospedaron en éstas áreas. Este hecho ha motivado la selección de estas zonas y concretamente de los municipios de Arona y Adeje en Tenerife y San Bartolomé de Tirajana y Mogán en Gran Canaria, como los ámbitos de aplicación de esta investigación (Figura 18). Son, además, municipios que se sitúan también entre los que más camas ofertan de toda España (Figura 19). Entre todos ellos ocupan una superficie de sólo 27.7 km² y su desarrollo urbano se concentra entre la costa y los 180 metros sobre el nivel del mar. Se trata de algunos de los espacios con más horas de sol y menor pluviosidad no sólo de España sino también dentro del propio espacio insular canario al encontrarse ubicados en las costas meridionales de las dos islas. Precisamente esas condiciones climáticas son las que los hacen tan atractivos para el turismo europeo, sobre todo invernal.

Figura 18. Localización de las zonas de estudio en las islas de Tenerife y Gran Canaria



Fuente: López et al., 2019

Figura 19. Los 20 municipios españoles con mayor oferta de camas hoteleras (2018)



Fuente: INE. Elaboración propia

Estos aspectos junto con la ya mencionada fragilidad de las islas y su especial vulnerabilidad ante el cambio climático (Becken, 2005; Petzold *et al.*, 2015), otorgan a las áreas seleccionadas un gran interés a la hora de aplicar una metodología de evaluación del riesgo a partir del análisis pormenorizado de factores como la exposición y la vulnerabilidad en dichas áreas turísticas. Gran parte de este interés radica en que en muchas ocasiones los emplazamientos de la oferta alojativa se han fundamentado únicamente en las condiciones climáticas, obviando la posibilidad de que ocurra un evento meteorológico adverso de carácter extremo, así como sus posibles consecuencias (Vera-Rebollo, 2003; Gómez-Martín, 1999 y 2005). Del mismo modo, es evidente que un desarrollo turístico tan intenso como el de las áreas seleccionadas provoca cambios sustanciales en el territorio debido a las modificaciones en los usos del suelo. En ese sentido, la expansión turística con una planificación inadecuada tendrá también efectos negativos en el medio ambiente costero (Wong, 1998, Vera-Rebollo, 2003, Vera-Rebollo y Treviño-Pérez, 2010, Kellens *et al.*, 2012) y, por tanto, en el turismo. Por otro lado, conocer las singularidades de estos espacios a través de los trabajos incluidos en el bloque II se alinea con los objetivos marcados en la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático (2013) y del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2015), que determina la necesidad de establecer estrategias de adaptación para los sectores más vulnerables como el turismo.

I.6. METODOLOGÍA Y FUENTES

I.6.1. Metodología

El objetivo general planteado en la actual tesis doctoral se sustenta en conocer los efectos del cambio climático sobre los eventos meteorológicos extremos para así definir una metodología de evaluación del riesgo como un proceso de adaptación. Para alcanzar este objetivo, se han cubierto una serie de objetivos específicos que se integran en un plan de trabajo de investigación, que si bien tanto al inicio como al final se mostraban (al inicio) y se muestran (al final) como un proceso secuencial, estos han sufrido diversas incorporaciones y modificaciones a lo largo del proceso de elaboración de los artículos que confirman la estructura del trabajo.

A este respecto cabe mencionar que algunos objetivos específicos, como la interrelación entre cambio climático y turismo, no fue prevista inicialmente como necesaria para alcanzar el objetivo general. Sin embargo, posteriormente surge esta preocupación que se convierte en un objetivo a cubrir para poder acercarse al desarrollo final de la investigación con un mayor grado de aprovechamiento y aplicabilidad. En todo caso, la principal línea de trabajo, consistente en el conocimiento de los impactos del cambio climático en la Macaronesia, así como el establecimiento de una metodología de evaluación del riesgo, se ha mantenido invariable a lo largo de la investigación.

En determinados momentos los trabajos realizados han tenido un carácter meramente exploratorio, sobre todo, en aquellos aspectos que envuelven el estudio del cambio climático. Este cariz se expresa, tanto en el marco teórico de la tesis, como en varias de las publicaciones integradas en la misma (Ej: López-Díez *et al.*, 2016; Dorta *et al.*, 2018). En cada uno de estos estudios se realizan aproximaciones al estado de la cuestión sobre diferentes aspectos, como es el caso del cambio climático para el área de estudio o la evolución normativa de políticas como la adaptación.

En otras fases de esta investigación, ha predominado el carácter empírico, fundamentado, en primer lugar, en el análisis de las evidencias e impactos del cambio climático en regiones como las Islas Canarias, a través del empleo de datos meteorológicos y técnicas estadísticas (Ej: Dorta *et al.*, 2020; López-Díez *et al.*, 2017; López-Díez *et al.*, 2019). También, la aplicación de un modelo de evaluación de la vulnerabilidad (Díaz-Pacheco *et al.*, 2020) y riesgo final en un área turística se ha desarrollado desde esta perspectiva aplicada y experimental.

La metodología de este trabajo se ha desarrollado simultáneamente a los avances conseguidos en cada una de las preguntas de investigación que, en definitiva, responden a los objetivos generales y específicos planteados. De este modo, para esta tesis doctoral, se pueden diferenciar **4 etapas** de desarrollo metodológico:

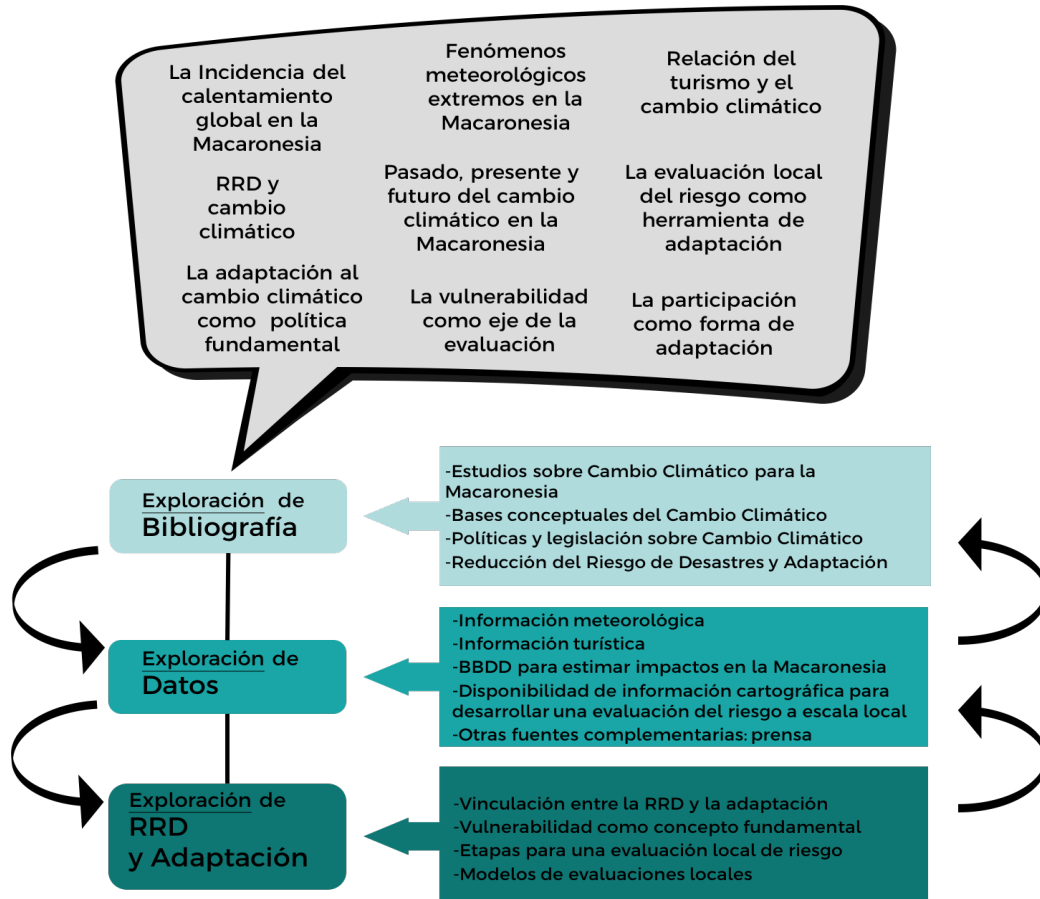
- 1) **Primera etapa:** Ideas iniciales y etapa de exploración
- 2) **Segunda etapa:** Planteamiento de objetivos y preguntas de investigación
- 3) **Tercera etapa:** Desarrollo de los trabajos, discusión y resultados
- 4) **Cuarta etapa:** Conclusiones

Es importante señalar que la etapa 3, dada la naturaleza de esta tesis doctoral por compendio de publicaciones, es precisamente en cada uno de estos trabajos donde se alcanzan gran parte de los objetivos planteados. No obstante, el propio marco teórico, incluido también el desarrollo de esta tercera fase, ha contribuido a dar respuesta a los objetivos y preguntas de investigación planteadas.

1.6.1.1. Primera etapa: Ideas iniciales y etapa de exploración

Esta primera etapa de la investigación ha estado caracterizada por los trabajos de índole exploratorio, característicos de cualquier inicio investigador (Figura 20). De este modo, los primeros avances surgen a partir de la interrelación de los conceptos e ideas que articulan esta tesis doctoral (*cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos, reducción del riesgo de desastres, adaptación, turismo y evaluación local del riesgo*). Esto dio como resultado que se abordasen cuestiones vinculadas, principalmente, con la teoría y comprensión de estos conceptos. Del mismo modo se comenzó a desarrollar el acopio de los datos y la información necesaria para afrontar con éxito parte de las publicaciones.

Figura 20. Primera etapa de la investigación. Ideas iniciales y exploración



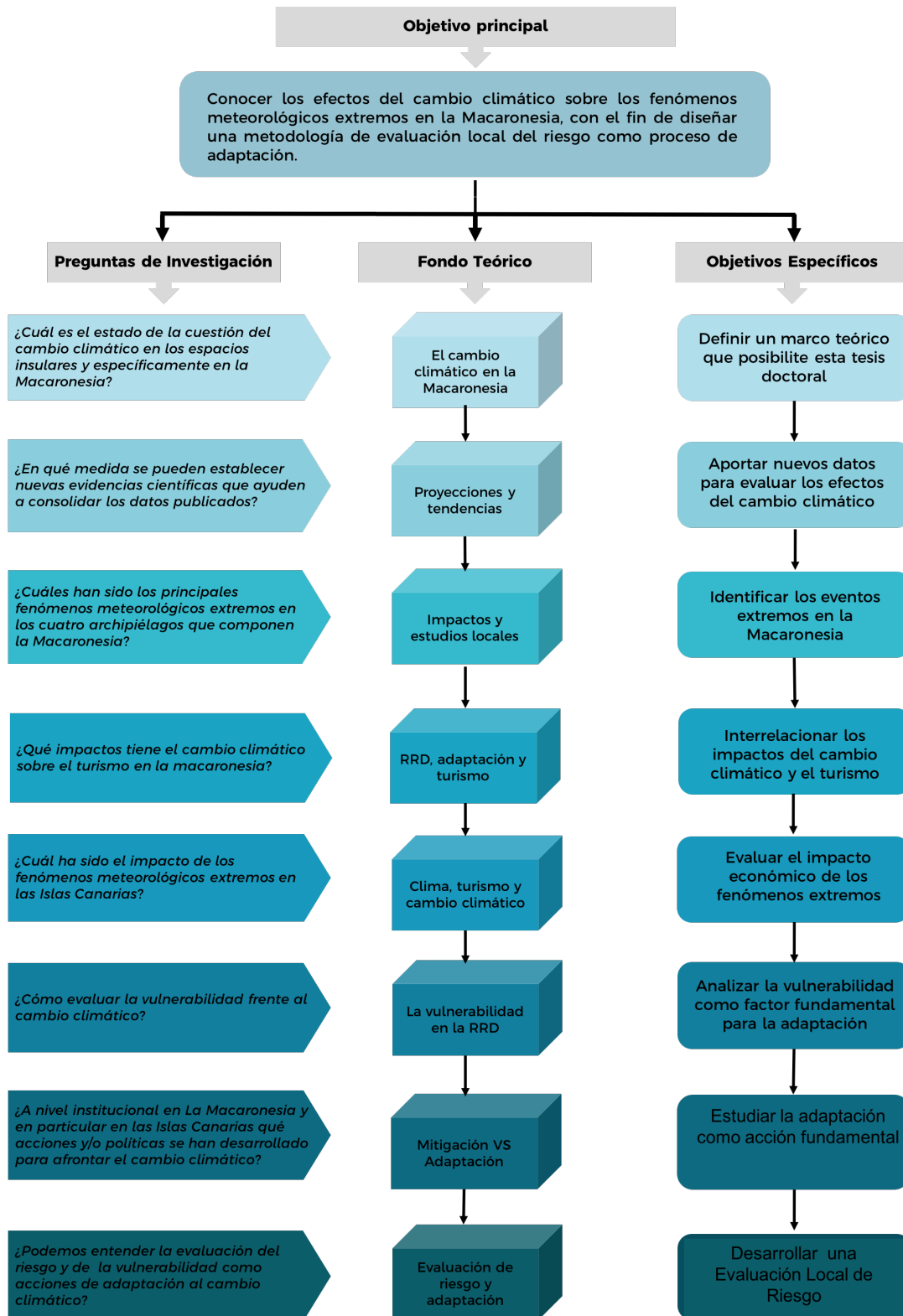
1.6.1.2. Segunda etapa: Planteamiento de objetivos y preguntas de investigación

Una vez completada la primera etapa exploratoria se procede al planteamiento del objetivo general y los específicos además de las preguntas de investigación (Figura 21). Es importante en este punto, precisar que el tratamiento de los objetivos específicos no se ha desarrollado de manera proporcional, es decir, pese a que todos han sido completados, algunas de las ideas proyectadas durante la etapa previa redujeron su grado de atención o interés a favor de desarrollar y focalizar en otras de las ideas que conforman alguno/s de los otros objetivos específicos. Un buen ejemplo de esto puede estar representado por el hecho de que para el objetivo general se había planteado inicialmente la consecución de una meta que posteriormente quedó trunca o pasó a un segundo plano en favor de otros intereses que se revelaron más acordes a la perspectiva de este trabajo. Es el caso de la observación de escenarios futuros sobre los efectos ambientales del cambio climático en la Macaronesia. Este objetivo fue desestimado como general y pasó a ser específico, una vez avanzada la revisión bibliográfica. Así, se detectó la existencia de trabajos y publicaciones científicas que abarcaban suficientemente este requerimiento. De esta manera, termina por concebirse un objetivo general vinculado con el cambio climático, pero de calado territorial y preocupado por la relación geográfica entre el ser humano y el medioambiente.

El mencionado hecho también dio lugar a que surgieran nuevas preguntas de investigación y al mismo tiempo nuevos objetivos específicos. Estas dudas, por tanto, ya no están centradas de manera exclusiva en las condiciones climáticas, sino que empiezan a aparecer inquietudes sobre la implicación territorial del fenómeno en la Macaronesia, una implicación que pasa por cómo medir los impactos, a qué escala deben abordarse, cuáles deben ser los primeros pasos para desarrollar acciones de adaptación y también, por ejemplo, en qué medida pueden afectar los impactos del cambio climático a espacios altamente explotados desde el punto de vista turístico, como es el caso de las Islas Canarias. En definitiva, toda una serie de aspectos que se ajustan a la idea del concepto de evaluación esgrimida por Dessai y Hulme (2004), donde las acciones de adaptación se han de acometer a partir de la evaluación del riesgo y no, cómo se ha desarrollado tradicionalmente, a partir únicamente del estudio estadístico de las variables ambientales alteradas por el cambio climático. Se debe empezar así

con los datos observados y proyectados antes de proceder a evaluar los impactos territoriales y así considerar las opciones de adaptación apropiadas.

Figura 21. Segunda etapa de la investigación. Planteamiento de objetivos y preguntas de investigación



Por tanto, comprender las condiciones climáticas actuales como futuras ha constituido un medio para poder utilizarlas a la hora de evaluar los impactos en áreas o sectores de interés como el turismo. De este modo esta tesis doctoral se ha enfocado en definir unos objetivos específicos que aborden el proceso lógico para definir una evaluación local del riesgo como estrategia de adaptación. Esto se ha desarrollado como se verá en el próximo apartado a través del conocimiento de la amenaza y del complejo contexto de la vulnerabilidad, un enfoque que trabajos como el de Khan y Roberts (2013) lo califican como una perspectiva mucho “más útil” que los enfoques que sólo abordan los impactos del cambio climático.

1.6.1.3. Tercera etapa: Desarrollo de los trabajos, discusión y resultados

La contextualización del cambio climático en la Macaronesia, la identificación de los fenómenos meteorológicos extremos, el estudio de las políticas de adaptación, así como la conceptualización de la evaluación del riesgo, han determinado los objetivos y preguntas de investigación de esta tesis doctoral y, por consiguiente, los ejes donde se han insertado las publicaciones. La realización de estos trabajos está en consonancia con el objetivo principal y los objetivos específicos, los cuales determinan el carácter aplicado de esta investigación. Cabe reseñar, en este punto, que algunos de los trabajos presentan un enfoque más teórico (López-Díez *et al.*, 2016; Dorta *et al.*, 2018; Dorta *et al.*, 2020) necesario para la consecución de dichos objetivos, mientras que otros son más aplicados (López-Díez *et al.*, 2017; López-Díez *et al.*, 2019; Díaz-Pacheco *et al.*, 2020). Desde el punto de vista teórico han sido varios los aspectos tratados. En primer lugar, la construcción del marco conceptual de esta tesis provee la fundamentación y soporte a la estructura metodológica que engrana el conjunto de las publicaciones que se presentan en el bloque II. Del mismo modo, en segundo lugar, se ha definido un amplio estado de la cuestión sobre la situación actual del cambio climático para una extensa región como la Macaronesia, abordado a partir del análisis de multitud de trabajos de carácter científico con el complemento, además, de los trabajos realizados en esta tesis, hecho que ha permitido conocer tanto evidencias actuales como proyecciones futuras. Finalmente, en tercer lugar, como se mencionaba al principio de este punto, la adaptación conforma uno de los ejes clave tanto en el conocimiento de los principales instrumentos o políticas mediante la cual se desarrolla como por su vinculación con las actuales estrategias de RRD; esto ha dado lugar a que se traten

estos aspectos de forma teórica en publicaciones específicas (López-Díez *et al.*, 2016). Gran parte de la importancia de estas aproximaciones teóricas, radica en que han suministrado las bases para la consecución de los objetivos que plantea esta tesis doctoral. Un trabajo, como se ha citado, con un marcado carácter aplicado debido fundamentalmente al desarrollo de un método de evaluación del riesgo como estrategia de adaptación en un entorno turístico de alta vulnerabilidad.

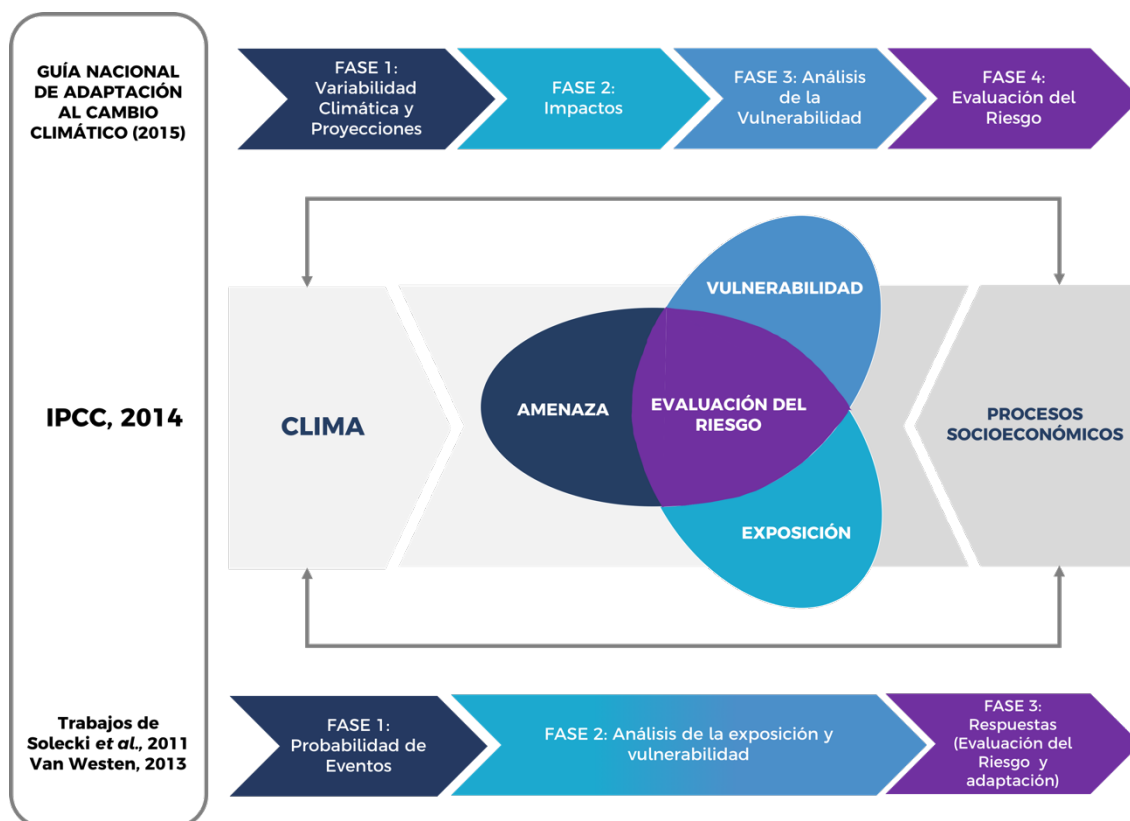
Las metodologías específicas empleadas para afrontar todas las tareas derivadas de cada uno de los objetivos están definidas en cada uno de los trabajos del bloque II. No obstante, conviene presentar en este apartado el eje sobre el que se sostiene esta investigación y mediante el cual se han abordado los diferentes objetivos. Tanto el conocimiento del cambio climático, como la observación de sus impactos en áreas como las turísticas deben ser conectadas a través de un ejercicio aplicado, abordando así el concepto de reducción del riesgo de desastres, evaluación local y adaptación al cambio climático de manera que conformen un todo y contribuyan a justificar la realización de esta investigación. Para ello, la secuencia analítica programada para los objetivos y las preguntas de investigación que se verá reflejada en el bloque II, concuerda con los planteamientos esgrimidos en el quinto informe de evaluación del IPCC (2014a), la Guía para la Elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Transición Ecológica (2015) o las publicaciones de W. Solecki y colaboradores (2011) y Van Westen (2013).

Todos estos trabajos presentan un enfoque común a la hora de gestionar los riesgos derivados del cambio climático, basado en el concepto de evaluación del riesgo como eje central. La evaluación del riesgo, tal y como se estudió en el punto I.4.3, consiste en poder conjugar e interrelacionar el diagnóstico que se hace de los elementos que integran el riesgo (*amenaza, exposición, vulnerabilidad*) además de incorporar el diagnóstico acerca del modo en que esta estimación es asimilada dentro de un conjunto ambiental o social, incorporándose dentro de los procesos de toma de decisión y planificación (*procesos socioeconómicos, políticas de mitigación y políticas de adaptación*). En este sentido, estas publicaciones también convergen y ponen el énfasis en la idea de contemplar y/o analizar la vulnerabilidad y exposición como los factores claves a la hora de acometer cualquier proceso de evaluación del riesgo. En consecuencia, se está ante planteamientos donde los factores sociales, económicos e institucionales

cobran gran relevancia. Además, esta propuesta se aleja de la tradicional aproximación de evaluación de riesgos climáticos donde se focalizaba principalmente sobre el estudio de la amenaza y sus posibles impactos. Es por ello, como reconoce el IPCC (2014a, p. 25), que estos nuevos enfoques entorno a la evaluación han de orientarse a establecer unas “estrategias eficaces de reducción del riesgo de desastres y adaptación” articuladas en base al estudio de la exposición-vulnerabilidad de un territorio.

De acuerdo a estos enfoques, cuya escala óptima de aplicación es la local, se establece la necesidad para aquellos trabajos que persiguen evaluar los efectos del cambio climático de distinguir varias fases. Como se observa en la Figura 22 todas estas publicaciones presentan un alto grado de similitud y sólo presentan pequeños matices, asociados más a aspectos terminológicos que de fondo. En esa línea, para definir las fases de nuestra investigación se ha optado por emplear las establecidas por la Guía para la Elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Transición Ecológica que integra la metodología propuesta por el IPCC, así como parte de las recomendaciones determinadas en la Guía Europea para desarrollar estrategias de adaptación (2013) de la Comisión Europea. Además, esta denominación de las fases, es similar al enfoque planteado por los trabajos de Solecki y colaboradores (2011) y Van Western (2013), con la única salvedad que estos entienden una fase conjunta a la hora de evaluar los impactos o exposición y la vulnerabilidad. Por todo ello, se han establecido un total de cuatro fases: una primera fase donde se profundiza en la variabilidad climática y proyecciones futuras; una segunda donde se aborden los impactos del cambio climático sobre los elementos expuestos; una tercera etapa destinada al análisis de la vulnerabilidad; y una fase final destinada a la evaluación del riesgo como forma de adaptación. Conviene resaltar en este punto que dada la conocida amplitud de contenidos que se pueden asociar o desempeñar en cada estadio, los trabajos realizados abordan una aproximación fundamentalmente desde el punto de vista de la geografía a cada una de las fases con la finalidad de satisfacer los objetivos definidos en esta investigación. En definitiva, las fases descritas con anterioridad tienen la finalidad de identificar, evaluar y favorecer el establecimiento de acciones de adaptación vinculadas a los riesgos del cambio climático.

Figura 22. Proceso para evaluar los riesgos derivados del cambio climático a escala local



Fuente: Elaboración propia a partir de la Guía para la Elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático, Quinto Informe de Evaluación del IPCC y artículos de Solecki *et al.*, (2011) y Van Westen (2013).

La **primera fase** está destinada a establecer el contexto; para ello es necesario conocer un fenómeno tan complejo como el cambio climático y las particularidades de éste en la Macaronesia. A tal efecto, el estudio de las principales variables climáticas con altas resoluciones espaciales y temporales es fundamental no sólo para conocer la magnitud del problema sino para estimar cómo puede afectar el cambio climático a nuestro ámbito de estudio. Por todo ello, los objetivos que se afrontaron en esta etapa están destinados a aportar información de las convicciones actuales sobre el cambio climático, así como de los posibles escenarios futuros y de los principales peligros potenciales. Esto se ha acometido en base a una extensa revisión de trabajos científicos y a través del tratamiento de nuevos datos de variables como las temperaturas o precipitaciones. El uso de esta información no sólo nos permite reducir los conocidos niveles de incertidumbre sobre el fenómeno, sino que nos permitirá incluir parte de estos resultados en los trabajos de las siguientes fases. En la Tabla

12 se detallan los trabajos que se emplearon para la consecución de los objetivos en esta primera fase.

Tabla 12. Publicaciones de la 1ª Fase

Título
El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro
Precipitaciones estivales en Canarias

En muchos casos, el cambio climático puede aumentar la peligrosidad de determinadas amenazas, sin embargo, este hecho no significa que un determinado espacio vaya a sufrir estos impactos, pues esto dependerá únicamente de aquellos elementos que estén expuestos (población, infraestructuras, sectores de actividad, etc). Por tanto, la **segunda fase** acomete la exposición como un elemento de gran importancia dentro de la evaluación del riesgo con el propósito de introducir y alimentar las siguientes etapas. Los objetivos específicos de esta fase persiguen dos fines. En primer lugar, identificar las principales amenazas que pueden impactar sobre el territorio y en segundo lugar modelizar los impactos a escala local. Por ello la comprensión del peligro y de los potenciales riesgos se ha realizado a través del análisis de eventos históricos y recientes con el fin de poder incluir esta variable dentro de la evaluación. Además, en esta fase, la perspectiva desde la Geografía de la investigación da lugar a que la caracterización geográfica de la Macaronesia sea un aspecto importante a tener en cuenta, tanto por el estudio de la actividad turística, uno de los sectores más expuesto a los impactos del cambio climático, como por la definición del área de aplicación de la evaluación local.

Respecto a la modelización de impactos se ha decidido analizar la amenaza más recurrente y que mayores daños causa en las áreas turísticas litorales identificadas: las inundaciones. Para esto se ha empleado un análisis estadístico de extremos, estudiando las características fundamentales de la precipitación, así como su comportamiento asociado a diferentes tipos de tiempo. Además de estos análisis se han contemplado otros elementos para modelizar los efectos de las precipitaciones intensas y las inundaciones en estos espacios. El empleo de otros estudios complementarios como los aportados por la cartografía de zonas inundables del Ministerio de Transición Ecológica o los de las diferentes administraciones locales (Gobierno de Canarias, Cabildos Insulares y

Ayuntamientos), conjuntamente con información específica sobre las condiciones socioeconómicas ha permitido comprender y analizar la exposición de un sector como el turismo a la variabilidad climática actual. Los objetivos de esta fase se contemplan en los trabajos indicados en la Tabla 13.

Tabla 13. Publicaciones de la 2ª Fase

Título
Turismo y amenazas naturales en la Macaronesia: Análisis comparado
Dangers and consequences of heavy rainfall and flooding in tourist areas of the Canary Islands (Spain)

Una vez completada las dos primeras fases, se dispone de una amplia información sobre dos de los componentes de la evaluación del riesgo, la amenaza y la exposición. A partir de este momento, en la **tercera fase** se han de acometer los objetivos vinculados con la vulnerabilidad, un elemento trascendental de cara a afrontar una óptima evaluación y diseñar futuras estrategias de adaptación frente al cambio climático.

A pesar de ser un fenómeno global, los impactos más severos del cambio climático se dan a escala local. En la mayoría de los casos, el mayor determinante de los impactos es la vulnerabilidad existente y no la ocurrencia misma del evento. Por tanto, los indicadores de vulnerabilidad deben definir, cuantificar y ponderar los aspectos generadores de la vulnerabilidad y esto debe realizarse a través de unidades regionales bien delimitadas (IPCC, 2014a). Este planteamiento lleva a afirmar que la vulnerabilidad es muy específica para cada realidad y varía de municipio en municipio, de barrio en barrio y de vivienda en vivienda. Por tanto, las estrategias orientadas a la evaluación del riesgo y, como resultado a la adaptación al cambio climático, son únicamente desarrollables a escalas locales y de detalle.

Existen múltiples metodologías para abordar una evaluación de la vulnerabilidad (Polsky *et al.*, 2003; Rhased y Weeks, 2003; D'Ercole y Metzger, 2004; Cardona, 2006; Birkman, 2007; Balica *et al.*, 2012). Sin embargo, cuando el área de estudio es local y se extiende por un enclave urbano con cierta homogeneidad, como es el caso de los ámbitos turísticos seleccionados, la diferenciación de un elemento como la vulnerabilidad, sólo es apreciable por pequeños matices (antigüedad de edificaciones, pendiente, aforos, construcciones bajo rasante, etc). De este modo,

un análisis de detalle puede conllevar importantes esfuerzos para construir información a partir de datos que muchas veces no están disponibles y requieren una enorme inversión de tiempo y recursos para su tratamiento. Es preciso, por tanto, identificar un procedimiento que permita establecer una evaluación de la vulnerabilidad a una escala útil y factible desde el punto de vista de la disponibilidad de información, pero también desde la perspectiva de la escala de análisis local. De esta manera, puede presentar un gran interés para el planeamiento integrado en los planteamientos de la RRD. Asimismo, dentro de las variadas dimensiones de la vulnerabilidad (física, social, ambiental, económica), difícilmente abordables en su conjunto en un trabajo de estas características, se ha afrontado de manera más detallada una valoración económica de los daños producidos por impactos de los fenómenos meteorológicos extremos en línea con lo sugerido por las investigaciones de Stern (2013) y Tonmoy (2019). De este modo se incluye información específica sobre las condiciones socioeconómicas, a fin de comprender y calificar mejor las vulnerabilidades asociadas para un ámbito concreto.

Los objetivos de esta tercera fase están satisfechos en dos trabajos, uno centrado en la evaluación de daños económicos y otro en el desarrollo de una metodología de evaluación de la vulnerabilidad a escala local, tratando de manera individual un elemento como la vulnerabilidad (Tabla 14).

Tabla 14. Publicaciones de la 3ª Fase

Título
Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: Temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016)
Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife)

El conocimiento del riesgo y la metodología de evaluación son aspectos críticos para considerar el alcance del cambio climático. Sólo cuando se han abordado estos problemas, se debe acometer el establecimiento de soluciones concretas en materia de adaptación al cambio climático (Jones y Preston, 2011). Completadas las etapas anteriores donde se analizaron los parámetros de la amenaza, exposición y vulnerabilidad se está en predisposición de afrontar la última o **cuarta fase** que permita vincular la RRD y la adaptación al cambio

climático, a través del ejercicio práctico de la evaluación del riesgo. Dentro de este contexto, como se desprende del trabajo de Tonmoy y colaboradores (2019), uno de los primeros aspectos que se ha de considerar es tener en cuenta las políticas, leyes y regulaciones que pueden imponer ciertos requisitos a la hora de la realización de la posterior evaluación. Esta idea nos lleva a presentar un trabajo que muestra una aproximación al marco regulatorio sobre política climática a tres niveles: internacional, nacional y regional, necesarios no sólo para ver las posibles limitaciones legales de nuestro trabajo sino como sustento teórico y metodológico para el diseño de la evaluación del riesgo.

Aunque entre los objetivos general y específicos de este trabajo no está el desarrollo de medidas concretas, de forma transversal en algunos de los trabajos se esbozan algunas de las soluciones que se tendrían que comenzar a desarrollar para los ámbitos de estudio definidos. No obstante, una de las aportaciones de esta investigación y de esta última fase es la propuesta de la integración de la participación comunitaria dentro de los procesos de evaluación del riesgo, una metodología cualitativa que debe ser tenida en cuenta en trabajos de este tipo (Van Alst *et al.*, 2008; MITECO 2015). El enfocar el trabajo a una escala de detalle, da lugar a que el diseño de acciones sea altamente dependiente del grado de involucramiento de los actores locales. Por ello durante el proceso de evaluación se debe incluir específicamente el conocimiento local para identificar, por ejemplo, más claramente los impactos de los eventos históricos y así poder concretar las respuestas. Del mismo modo, este proceso participativo estimula el diálogo y la interacción entre los distintos entes fortaleciendo el empoderamiento local y del mismo emanan soluciones específicas para abordar la mitigación y, sobre todo, la adaptación. Para ello, como forma de completar los objetivos en esta fase se diseñó una evaluación del riesgo participativa (ELRP) que conforma uno de los trabajos desarrollado en esta última fase.

El riesgo es un concepto no materializado, digamos latente, a diferencia del desastre o catástrofe que es real y sus impactos pueden ser medidos. Por ello la evaluación del riesgo debería, al menos, permitirnos tener un mayor conocimiento del mismo, de su existencia y de sus posibles efectos, así como de la predicción aproximada de que este pueda materializarse en un desastre. En tal sentido, es importante destacar que el riesgo no es un fenómeno que haya sido impuesto de manera ajena a la sociedad, sino que se encuentra integrado dentro de ésta, de manera latente y con relación a sus procesos. Por ello, está cada vez

está más extendido el concepto de “construcción social del riesgo” acorde a las ideas esgrimidas por el sociólogo alemán Ulrich Beck (1998, 2002). Esto se puede sintetizar en que la sociedad potencia el impacto negativo de los desastres. Por tanto, se puede afirmar que el riesgo se construye, en gran medida, por las acciones humanas, con lo que de la misma forma que intervenimos en la construcción del riesgo, deberíamos poder intervenir en su deconstrucción. Por esta razón, la evaluación del riesgo en su conjunto, debe servir para, precisamente, conocer las condiciones que anteceden al desastre y así poder minimizar y reducir las pérdidas y daños hacia el futuro.

Estos planteamientos derivan en que para la consecución del último objetivo específico (Tabla 15) que se integra en esta tesis doctoral se ha aplicado un método de evaluación del riesgo para un sector litoral y turístico. La evaluación presentada se diseña con un marcado carácter territorial y está dirigida a los elementos que intervienen en la construcción del desastre. Estos elementos o parámetros son los que se han abordado en las fases anteriores (amenaza, exposición y vulnerabilidad). Por un lado, en primer lugar, se han determinado los elementos de carácter físico, capaces de producir impactos negativos, la amenaza. El segundo elemento trabajado y que se conjuga es la exposición que, de manera sintética como se ha estudiado, puede definirse como la localización de los factores susceptibles de recibir el impacto de una amenaza. En tercer lugar, se ha abordado un elemento de gran interés en la conocida ecuación del riesgo que integra esta evaluación, la vulnerabilidad, entendida desde sus múltiples dimensiones.

En definitiva, la secuencia metodológica presentada intenta realizar una aproximación a unos elementos que tienen un carácter extremadamente complejo, en cuanto a que los tres (amenaza, exposición y vulnerabilidad) pueden integrar un alto grado de dinamismo e incertidumbre infundado por el cambio climático. Además, estos tres elementos se encuentran relacionados entre sí, por lo que la observación de estos de manera individual, tal y como se ha presentado en cada una de las fases, puede hacer entender de manera más completa el resultado de su combinación, es decir, el riesgo.

Tabla 15. Publicaciones de la 4ª Fase

Título
Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias
La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático
La evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos

Finalmente, en esta penúltima etapa de la investigación, en cada uno de los trabajos se han expuesto los resultados y discusiones. Este hecho viene determinado, entre otras cuestiones, por la propia modalidad de tesis doctoral, por compendio de publicaciones. Es por ello que en el bloque II donde de manera independiente, con cada uno de los trabajos se ha tratado de ir respondiendo a las preguntas de investigación y a los objetivos específicos con los que fueron planteados dichos trabajos.

1.6.1.4. Cuarta etapa: Conclusiones

Hace referencia a la última etapa de esta tesis doctoral conformante de la práctica totalidad del bloque III. Es donde de manera específica se tratan de combinar las ideas fruto de los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación. Las conclusiones tratan de aunar las explicaciones derivadas de cada una de las etapas del trabajo donde a través de una serie de preguntas y objetivos específicos se perseguía un objetivo general.

1.6.2. Fuentes

Entre las fuentes que han sido empleadas para lograr los objetivos definidos en este trabajo, se encuentran las fuentes bibliográficas; las fuentes de datos estadísticos, fundamentalmente de carácter climático y turístico; y las fuentes cartográficas. La revisión documental y bibliográfica es una tarea imprescindible para acometer todos los objetivos fijados en esta investigación. Acometida a partir de la consulta de múltiples artículos científicos, informes técnicos y documentos de diversa índole, ha permitido, desde realizar el encuadre teórico de la investigación hasta el conocimiento del estado de la cuestión sobre temas de estudio. Todos los trabajos consultados están detallados en los apartados correspondientes de cada una de las publicaciones científicas que componen

esta investigación. Asimismo, las fuentes bibliográficas no detalladas en estos trabajos y que han conformado parte del bloque I y bloque III, se encuentran también recogidas en el apartado de referencias bibliográficas de este documento. Por tanto, a continuación, únicamente se detallan aquellas fuentes de información que han resultado “más importantes” durante este trabajo.

Referente a los datos de observación meteorológicos, se ha utilizado la información de las estaciones de la red principal de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), empleada para el tratamiento de valores extremos y tendencias. En esta línea, para estos análisis se ha empleado información meteorológica del Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) y del Centro Nacional para la Información Ambiental y la base de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), con la finalidad de caracterizar los archipiélagos de Azores, Madeira y Cabo Verde¹⁷. Además, para el estudio de los eventos tropicales también se ha recurrido a la base de datos de Huracanes de la NOAA.

Referente a los datos estadísticos turísticos, empleados para tratar varios aspectos de los trabajos presentados, se ha recurrido a entidades oficiales como el Instituto Canario de Estadística (ISTAC), el Instituto Nacional de Estadística de España (INE), el Servicio de Estadísticas de Azores (SREA), la Dirección Regional de Estadística de Madeira (DREM), el Instituto Nacional de Estadística de Cabo Verde (INECV), el Instituto Nacional de Estadística de Portugal (INEP) y la base de datos del Banco Mundial (IBRD).

La base de datos del Consorcio de Compensación de Seguros de España (CCS), ha sido empleada para la estimación de los impactos de los eventos de rango extraordinario en las Islas Canarias. Ésta ofrece una amplia perspectiva tanto temporal como espacial, contemplado eventos o siniestralidades en Canarias desde 1996 a cuatro escalas de análisis diferente, regional, insular, municipal e infra municipal. El CCS muestra un total de 49.934 registros, clasifica los acontecimientos con un origen climático en: inundación, embate de mar y tempestad ciclónica atípica¹⁸.

¹⁷ El Instituto Nacional de Meteorología e Geofísica de Cabo Verde es el organismo oficial del país, sin embargo, pese a varias solicitudes los datos nunca fueron aportados, por eso se ha recurrido a los datos de la NOAA.

¹⁸ Aquellos eventos de viento con rachas superiores a 120 km/h.

Una de las fuentes más novedosas empleadas en este trabajo, tanto por su nulo tratamiento científico previo como por el volumen de información es la proporcionada por el Centro de Coordinación de Emergencias (112), perteneciente al Gobierno de Canarias. La explotación de esta base de datos ha permitido crear un inventario de las llamadas recibidas durante el desarrollo de los fenómenos de rango extraordinario, permitiendo así, estimar los efectos de estos fenómenos, así como su localización espacial.

Uno de los elementos cartográficos de más relevancia por su delimitación objetiva y con exactitud es la parcela catastral como unidad de trabajo en la evaluación local del riesgo, una información extraída de la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda de España.

En el caso de los datos cartográficos auxiliares, como redes de comunicación, límites administrativos, usos de suelo urbano, zonas inundables, etc. Se han elaborado a partir de la información extraída de entidades como el Sistema de Información Territorial de Canarias (SITCAN), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) o el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).

BLOQUE II. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

II.1. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

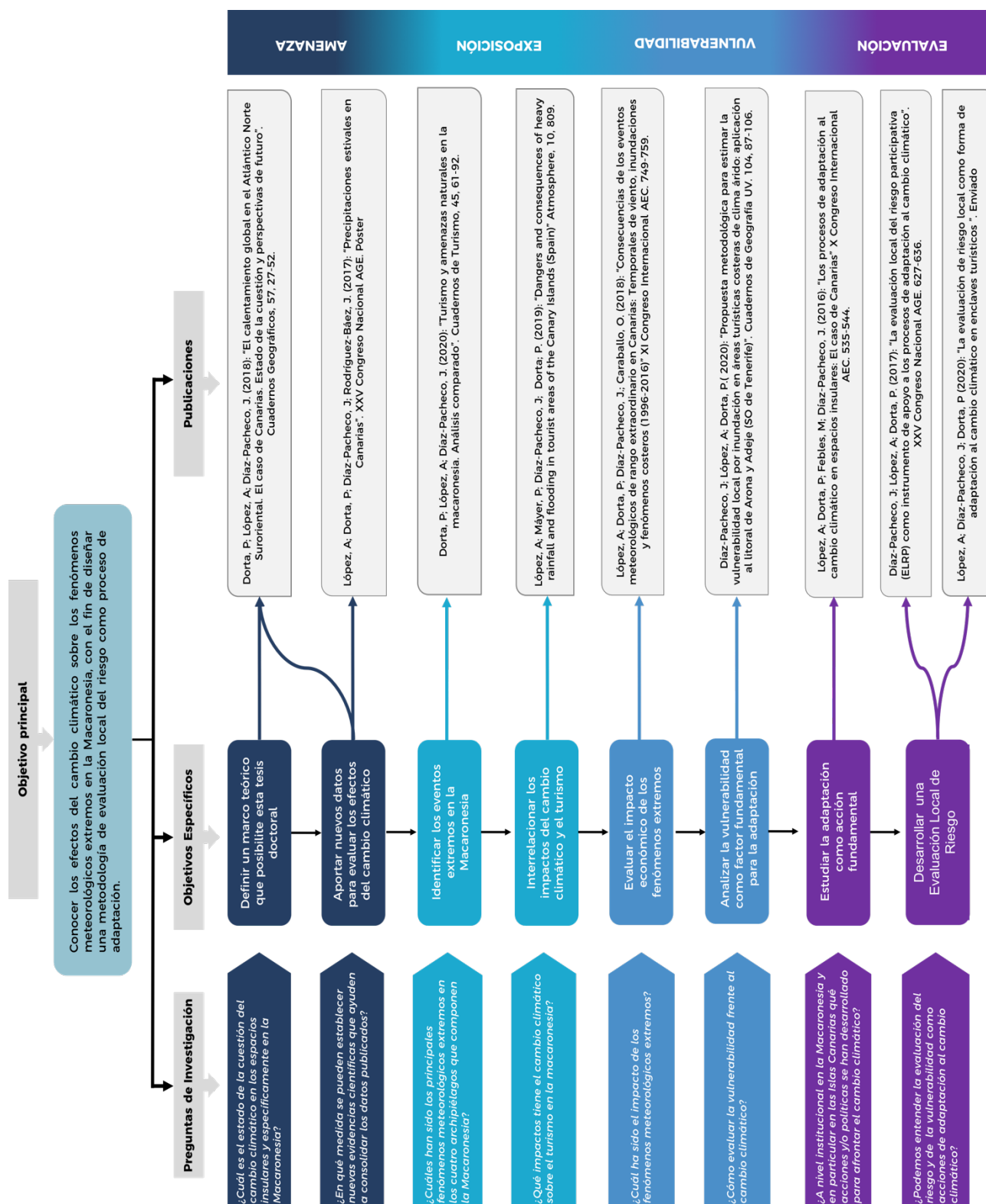
En este segundo bloque, se presentan un total de nueve documentos tanto en formato de artículo científico como de contribuciones a congresos nacionales e internacionales (Tabla 16). Cuatro de estos artículos han sido ya aceptados y publicados en revistas científicas de impacto indexadas en Journal Citation Report (JCR), Scimago Journal Rank (SJR) o Scopus, mientras que el quinto está enviado y aceptado para su revisión en una revista de impacto¹⁹. Respecto a las comunicaciones a congresos todas han sido ya revisadas y publicadas en los diferentes libros y actas de los congresos. Como se explicó en la metodología de esta tesis cada uno de los trabajos se inserta en las fases definidas y están orientados a la discusión de los resultados vinculados a las preguntas y objetivos del presente trabajo y, en definitiva, la suma de todos ellos está destinada a la consecución del objetivo general (Figura 23).

Tabla 16. Publicaciones del Bloque II

Año		Título
ARTÍCULOS	2018	El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro.
	2019	Dangers and consequences of heavy rainfall and flooding in tourist areas of the Canary Islands (Spain).
	2020	Turismo y amenazas naturales en la macaronesia. Análisis comparado.
	2020	Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife).
	Enviado	La evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos.
CONGRESOS	2016	Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias.
	2017	Precipitaciones estivales en Canarias.
	2017	La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático.
	2018	Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: Temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016).

¹⁹ El último de los trabajos *“La Evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos”*. Estaba prevista su aceptación y revisión por parte del XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC) durante el mes de mayo de 2020. Debido a la crisis sanitaria del COVID-19, se ha aplazado dicho encuentro hasta octubre de 2021, motivando la cancelación de los trabajos remitidos y la reconversión del citado trabajo a artículo para el envío a una revista de impacto.

Figura 23. Relación entre las publicaciones y los objetivos de la tesis doctoral



Los artículos expuestos presentan un orden que responde en gran medida a la metodología empleada en este trabajo. Además, en lo que se refiere al desarrollo de los mismos, éstos presentan una alta vinculación entre sí, constatando así los continuos avances en la presente tesis doctoral, la coherencia en las líneas de investigación, así como la consecución de los objetivos y las fases expuestas en la metodología. Es importante reseñar que cada trabajo persigue alcanzar un objetivo específico, independientemente de que éste pueda también ser apoyado o complementado por alguna de las otras publicaciones de esta investigación. A continuación, se detallan de forma sintética los contenidos de cada una de las publicaciones:

1º) *El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro*

El primero de los artículos científicos publicado por la revista *Cuadernos Geográficos* describe y evalúa la magnitud del cambio climático en el Atlántico Norte Suroriental, área donde se sitúa la Macaronesia. Este trabajo ha sustentado gran parte de los contenidos de esta investigación y de la primera fase metodológica. A través de una exhaustiva consulta bibliográfica y la elaboración de nuevos datos y resultados, se ha posibilitado conocer las evidencias, tendencias e impactos del cambio climático en el área de trabajo. De este modo se han corroborado cambios en algunos de los elementos del clima más característicos como las temperaturas que revelan un claro incremento, principalmente en las mínimas, y la precipitación, con un ligero descenso respecto a los totales anuales. También, resulta indicativo el análisis de eventos extremos que permite inferir entre otros resultados un futuro con probable presencia de eventos propios de latitudes tropicales.

2º) *Precipitaciones Estivales en Canarias*

El segundo de los trabajos correspondientes a la primera fase metodológica presentado en el *XXV Congreso de la Asociación Española de Geografía*, evalúa las tendencias de las precipitaciones para los meses de verano en las Islas Canarias a través de diferentes métodos estadísticos. Constatando para varias de las estaciones analizadas cambios destacados en sus regímenes pluviométricos tendiendo estos hacia un aumento en los meses estivales. Asimismo, este trabajo

no sólo aporta datos nuevos, sino que refuerza afirmaciones realizadas en otras publicaciones vinculadas con los cambios pluviométricos en el área de estudio.

3º) Turismo y amenazas de origen natural en la Macaronesia. Análisis comparado

El tercer trabajo publicado en la revista *Cuadernos de Turismo* compete un doble análisis en profundidad, el primero de ellos focalizado en la actividad turística en los cuatro archipiélagos, el segundo trata de conocer e identificar las amenazas de origen natural y en particular las de origen meteorológico, permitiendo así identificar los fenómenos extremos acontecidos en esta región. Esta investigación, inserta en la segunda fase metodológica, ha abordado el grado de exposición de la actividad turística como sector expuesto a experimentar importantes pérdidas vinculadas con las amenazas existentes en la Macaronesia. Esto ha constatado diferencias entre archipiélagos siendo Canarias el más explotado y Azores el más propenso a sufrir eventos de desastres.

4º) Dangers and consequences of heavy rainfall and flooding in tourist areas of the Canary Islands (Spain)

El cuarto trabajo, publicado en la revista internacional *Atmosphere* analiza el impacto de los episodios de lluvia intensa y los procesos de inundación en las zonas litorales turísticas de las Islas Canarias. Entre estas zonas se encuentran las situadas en el sur de Gran Canarias y Tenerife, siendo esta última el área donde hemos desarrollado posteriormente la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo. Esta investigación aborda una caracterización de la precipitación para estos sectores a través del estudio de episodios extremos empleando el percentil 99 para una serie de estaciones con datos de precipitación diaria. Además, se procedió a una caracterización de los tipos de tiempo que han generado este tipo de situaciones, para posteriormente calcular la precipitación máxima diaria en base a varias funciones de distribución como Log Pearson III, que mostró ser la que mejor se adecuó para los datos trabajados. Finalmente, una de las novedades de este trabajo de gran interés para esta tesis se ha fundamentado en estudiar las consecuencias socioeconómicas y territoriales de un riesgo como las inundaciones entre el periodo de 1998 y 2016 a partir de múltiples fuentes (CCS, prensa, etc).

5°) *Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016)*

El quinto de los trabajos y primero de la tercera fase metodológica está publicado en el *XI Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC)*. Acomete un análisis de impactos económicos de tres de los fenómenos meteorológicos con mayor repercusión en la Macaronesia: temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros. Para ello, a través principalmente del uso de la base de datos del Consorcio de Compensación de Seguros de España (CCS) para el periodo 1996-2016, se han identificado los principales eventos acontecidos y se evalúan de forma pormenorizada algunos de estos eventos extremos. De este modo se ha podido estimar unas pérdidas indemnizadas por el CCS de casi 300.000.000 € pero que podrían superar ampliamente los 600.000.000 € si incluimos otras fuentes de información.

6°) *Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife)*

El sexto de los trabajos publicado en la revista *Cuadernos de Geografía* se centra en uno de los ejes fundamentales de esta investigación, la evaluación de la vulnerabilidad. Para el logro de este objetivo se ha desarrollado una propuesta metodológica de aplicación en un área litoral turística del suroeste de Tenerife, compuesta por los municipios de Arona y Adeje. A una escala de parcela catastral se ha elaborado un índice de vulnerabilidad que oscila entre un valor mínimo de 0 y un máximo de 1. Este índice ha sido generado a partir de la identificación de múltiples elementos que interrelacionan de forma clara con un riesgo como las inundaciones. De este modo se ha evaluado la vulnerabilidad frente a este riesgo a una escala local y con un gran nivel de precisión.

7°) *Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias*

El séptimo de los trabajos y primero de los tres que conforman la última fase metodológica está publicado en el *X Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC)*. Este estudio describe las acciones de tipo normativo a nivel internacional, europeo y regional que se han desarrollado

entorno a la adaptación al cambio climático durante los últimos años. Además, como ejemplo, se centra en conocer las acciones concretas que se han desarrollado sobre adaptación en uno de los archipiélagos macaronésicos, las Islas Canarias. Un archipiélago que apenas ha contado con logros significativos en materia de adaptación más allá de la “Estrategia Canaria de Lucha contra el Cambio Climático” que impulsó la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático en 2009. Unos avances que se paralizaron en 2011 a partir de la racionalización del gasto público como consecuencia de la crisis financiera de 2008.

8º) La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático

El octavo de los trabajos está publicado en el *XXV Congreso de la Asociación Española de Geografía* y supone el segundo trabajo de la última fase de la evaluación del riesgo. Esta publicación valora el empleo de una metodología cualitativa de evaluación del riesgo a escala local como una forma de generar acciones de adaptación frente al cambio climático. De este modo se valora la relación de las amenazas con la vulnerabilidad y la exposición, a través de una metodología consistente en siete fases que permite obtener una estimación final del riesgo para el contexto que queremos evaluar. Además, como objetivo paralelo en este estudio se plantea el proceso participativo como instrumento para mejorar la capacidad social de adaptación y la percepción del riesgo de desastres en un contexto de cambio climático.

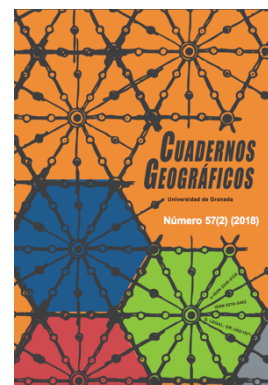
9º) La evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos

El noveno trabajo de esta tesis doctoral se encuentra enviado a una revista de impacto para su revisión. Esta última publicación conforma el ejercicio final de esta tesis doctoral donde se han integrado todos los componentes del riesgo (amenaza, exposición y vulnerabilidad) para el análisis de un riesgo concreto: las inundaciones. Para ello se ha aplicado una metodología de evaluación sustentada en el método elaborado por la Oficina de Naciones Unidas (UNDRO). Además, esta investigación incluye la explotación de la bbdd del Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad (CECOES) 1-1-2 del Gobierno de Canarias como fuente primaria para caracterizar la peligrosidad de un riesgo como las inundaciones,

siendo una de las principales novedades de esta tesis doctoral. Asimismo, corrobora la utilidad del resto de los trabajos mencionados con anterioridad, fortaleciendo el interés de la evaluación del riesgo como una herramienta para iniciar o acometer los procesos de adaptación en áreas urbanas y turísticas.

A continuación, se presentan los artículos mencionados con anterioridad:

II.1.1. El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro



Autores/as: Pedro Dorta Antequera, **Abel López Díez**, Jaime Díaz Pacheco

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

CITA: Dorta Antequera, P.; López Díez, A.; Díaz Pacheco, J. El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. Cuadernos Geográficos, 2018, 57(2), 27-52.

Factor de impacto (2018):

SJR: 0,262 Q3

SCOPUS: 0,42

Código QR para acceso:



El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro

PEDRO DORTA ANTEQUERA¹ ✉ | ABEL LÓPEZ DÍEZ² | JAIME DÍAZ PACHECO³

Recibido: 18/04/2017 | Aceptado: 09/12/2017

Resumen

El archipiélago canario se encuentra en una región de gran interés desde una perspectiva climática, formando parte de la Macaronesia, en el Atlántico Norte Suroriental. Se trata de un espacio geográfico insular con escasa información meteorológica, especialmente en cuanto a la longitud de las series. No es hasta época muy reciente cuando comienzan a aparecer las primeras publicaciones que analizan esos datos y que complementan a los modelos globales existentes. El estudio de esos trabajos publicados y de datos de eventos extremos analizados, corroboran cambios relevantes en algunos de los elementos del clima más característicos, sobre todo la temperatura, que manifiesta un nítido ascenso y la precipitación, en menor medida, con un descenso poco significativo. Además también se analizan cambios en algunos otros parámetros como la presión, la humedad relativa, el viento y las advecciones de origen sahariano. Finalmente, se lleva cabo un análisis de eventos extremos entre los que destacan los de rasgos tropicales, lo que permite inferir un futuro con probable presencia de eventos propios de espacios de rasgos claramente tropicales, por ejemplo las lluvias estivales o las tormentas y ciclones tropicales.

Palabras clave: cambio climático; Islas Canarias; riesgos climáticos; eventos extremos; resiliencia; Macaronesia.

Abstract

The global warming in the Southeast region of the North Atlantic Ocean. The case of Canary Islands. State of the art and further perspectives

The Canary Islands are located in a climatic region of interest, being part of Macaronesia in the Southeast zone of the North Atlantic Ocean. It is a geographic area composed by islands where the meteorological information is scarce, particularly on the length of the available time series. The scientific publications which started to analyse this data had not appear until very recently as supplement of the existent global models. An overview of these works and the analysis of extreme events have allowed validating relevant changes on some of the climate elements, mainly the temperature which manifests a well-defined increase; and also the rainfall but in a minor degree. Moreover, increments on the sea level and changes in parameters like the pressure, the relative wet, the wind, and the Saharan dust advections are showed. Finally, an analysis on tropical events allows inferring a likely future of climatic tropical features as summer rainfall or tropical storms.

Key words: Climate change; Canary Islands; climate risks; extreme events; resilience; Macaronesia.

1. Cátedra «Reducción del Riesgo de Desastres. Ciudades Resilientes» Universidad de La Laguna. pdorta@ull.es

2. Cátedra «Reducción del Riesgo de Desastres. Ciudades Resilientes» Universidad de La Laguna. alopezd@ull.es

3. Cátedra «Reducción del Riesgo de Desastres. Ciudades Resilientes» Universidad de La Laguna. jdiazpac@ull.es

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

28

Résumé

Le réchauffement climatique dans le sud-est de l'Atlantique Nord. Le cas des Îles Canaries. État de la question et perspectives d'avenir

L'archipel est situé dans une région d'un grand intérêt du point de vue climatique, une partie de la Macaronésie, dans l'Atlantique Nord-Est. Il est une île avec peu de temps de l'espace géographique, en particulier en ce qui concerne la durée de la série. Non, jusqu'à très récemment quand ils commencent à apparaître les premières publications analysant les données et modèles complémentaires mondiaux existants. L'étude de ces travaux et les données publiées d'événements extrêmes analysés, confirmer des changements significatifs dans certains des éléments climatiques les plus caractéristiques, en particulier la température, présentant augmentation des précipitations et forte, dans une moindre mesure, une diminution insignifiante. De plus les changements sont également discutés dans certains autres paramètres tels que la pression, l'humidité relative, le vent et advection d'origine saharienne. Enfin, il a procédé à une analyse des événements extrêmes parmi lesquels les caractéristiques tropicales qui nous permet de conclure à un avenir avec la présence probable d'espaces propres événements clairement les caractéristiques tropicales, telles que les pluies d'été ou les tempêtes et les cyclones tropicaux.

Mots-clés: changement climatique; Îles Canaries; risques climatiques; événements extrêmes; résilience; Macaronésie.

1. Introducción

Desde 1990, año en que se publicó el primer informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), tras miles de artículos y cinco informes publicados resulta tan evidente que el calentamiento del planeta es una realidad como que la actividad humana es responsable del ello (Cook *et al.*, 2013; IPCC, 2013). No obstante, los primeros modelos climáticos de los años 90 tenían una resolución espacial baja y el *downscaling* o regionalización climática se convirtió en una prioridad que ha hecho que, en los últimos años, las rejillas espaciales de análisis se hayan reducido considerablemente permitiendo estudios de mayor detalle. Además, las investigaciones a escala local, con datos homogeneizados de estaciones meteorológicas calibradas y evaluadas, han supuesto la fase más reciente en cuanto al análisis más directo del territorio y la corroboración de los grandes modelos globales. En este sentido, las islas de pequeñas dimensiones siempre han quedado al margen de estos modelos generales, precisamente por su reducido tamaño, aunque algunas de ellas sean las primeras y las más afectadas por el calentamiento (Albert *et al.*, 2016; Petzold *et al.*, 2015).

Por otra parte, los archipiélagos de la Macaronesia muestran, en general, un complejo relieve que hace aún más problemática, si cabe, la aplicación de esos modelos globales, por lo que resulta esencial analizar el territorio con mucho mayor detalle, especialmente en cuanto a la precipitación (Expósito *et al.*, 2015).

En este artículo, se tendrá ocasión de comprobar que los datos reales de detalle de estaciones meteorológicas y no únicamente de los modelos en el Atlántico Norte Suroriental en el que se encuentra el archipiélago canario, ponen de manifiesto que esta región no sólo no es ajena al calentamiento, sino que, en algunos casos, muestra cambios relevantes. Como se verá, diversas publicaciones constatan el aumento térmico generalizado. Los análisis pluviométricos, aunque

más difíciles de realizar por la gran irregularidad de las precipitaciones en las islas, también comienzan a sugerir, débilmente, cambios en los patrones de circulación, con una mayor concentración de la misma y una probable, aunque poco significativa, disminución del total de lluvias. Por último, también se han detectado cambios en algunas otras variables como la humedad relativa o la evapotranspiración.

Al mismo tiempo, en época reciente, se han producido en Canarias, y en la Macaronesia, en general, una serie de fenómenos meteorológicos extremos con graves consecuencias en cuanto a daños económicos y víctimas. Es muy probable que algunos de estos eventos puedan estar influenciados por el citado calentamiento.

En este contexto, los estudios sobre islas pequeñas, y sobre la Macaronesia en particular, tienen un gran interés como laboratorios en cuanto a procesos de mitigación y adaptación, así como al desarrollo de la resiliencia frente al cambio climático (Tomé, *et al.*, 2014; Petzold y Ratter, 2015). Como es sabido, los espacios insulares suelen compartir una gran biodiversidad y sistemas económicos similares con una fuerte dependencia del exterior (abastecimiento de todo tipo, energía etc.). El turismo es uno de sus principales pilares económicos, con un peso muy destacado en su PIB, actividad que depende, a su vez, de los combustibles fósiles para trasladar a los potenciales turistas hasta las islas. Por su parte, los turistas presentan un consumo elevado de recursos, superior a la población residente y se trata, en buena medida, de visitantes extranjeros de procedencia lejana (Esteba Talaya *et al.*, 2005). El gasto energético también suele ser más alto, como lo demuestran, por ejemplo, las emisiones de CO₂ per cápita en Canarias, que superan a la media nacional⁴, aún con una renta por habitante inferior, por lo que las medidas de mitigación igualmente podrían tener consecuencias importantes sobre el desarrollo de las islas

Por todo ello, los espacios insulares son más vulnerables ante un escenario de calentamiento global constituyendo, probablemente, la mayor amenaza potencial para las islas pequeñas (Petzold y Ratter, 2015), como es el caso de Canarias y el resto de los archipiélagos de la Macaronesia. Resulta crucial, por consiguiente, valorar el cambio climático en esta región.

En esta línea, para poder evaluar y mostrar la magnitud del cambio climático en Canarias se expondrán, en un primer apartado, los objetivos, fuentes y el método utilizado, posteriormente el contexto geográfico y climático, luego la discusión sobre cuáles son las evidencias y la magnitud de los cambios detectados, a continuación, las proyecciones de futuro y, por último, las principales conclusiones.

2. Metodología

El objetivo principal de este artículo es mostrar la realidad más reciente sobre el calentamiento global en la región de Canarias y, por extensión, el Atlántico Norte Suroriental, representado, en cierta medida, por la Macaronesia. Para ello se tendrán en cuenta las principales conclusiones a las que llega la bibliografía especializada, así como algunos nuevos datos que complementan dichos estudios. Para ello se expone el estado de la cuestión en el archipiélago y su contexto geográfico con la información más reciente. Como objetivo secundario también se plantea mostrar las principales ideas que reflejan algunos de los modelos generales de proyección futura. Con este

4. En 2014 la media de emisiones de CO₂ de las CCAA en España es de 138,12 eq (kt) per cápita y la de Canarias es 162,07 eq (kt) per capita. Calculado a través de cifras de población del padrón (INE, 2014) y el inventario de toneladas de emisiones equivalentes (MAPAMA, 2014).

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

30

fin se analizará, con exhaustividad, como primera fuente del trabajo, la bibliografía publicada hasta la actualidad que, de alguna u otra manera, analice cuestiones climáticas relacionadas con el calentamiento en el área de estudio y sus proyecciones futuras. En este sentido, las publicaciones muestran las principales tendencias en los elementos del clima de manera pormenorizada pero muy dispersa.

Además, junto a los resultados de los citados trabajos, se mostrarán algunos nuevos datos, especialmente en relación a los fenómenos meteorológicos de rango extraordinario que también contribuyen a evaluar el cambio y sus consecuencias, complementando así las aseveraciones señaladas por las publicaciones. Para ello se utilizarán las bases de datos de las estaciones meteorológicas de la red principal de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con el tratamiento estadístico de algunos de los valores extremos y las tendencias de los mismos. Para el análisis de eventos extremos concretos se empleará, también, la información meteorológica de los archipiélagos de Azores y Madeira extraídas del Instituto Portugués do Mar e da Atmosfera (IPMA) y del Centro Nacional para la Información Ambiental y la base de datos de huracanes de la NOAA. El análisis general de los territorios de la Macaronesia pretende dar consistencia científica a las conclusiones puesto que así se corroboran los datos de Canarias y se constata el calentamiento en el contexto de una región mucho más amplia.

De esta manera se analizará, en primer lugar, la temperatura, en segundo lugar la precipitación, en tercer lugar algunos otros parámetros climáticos (presión, humedad relativa, etc.), y, por último, los eventos extremos.

2.1. Contexto geográfico y climático

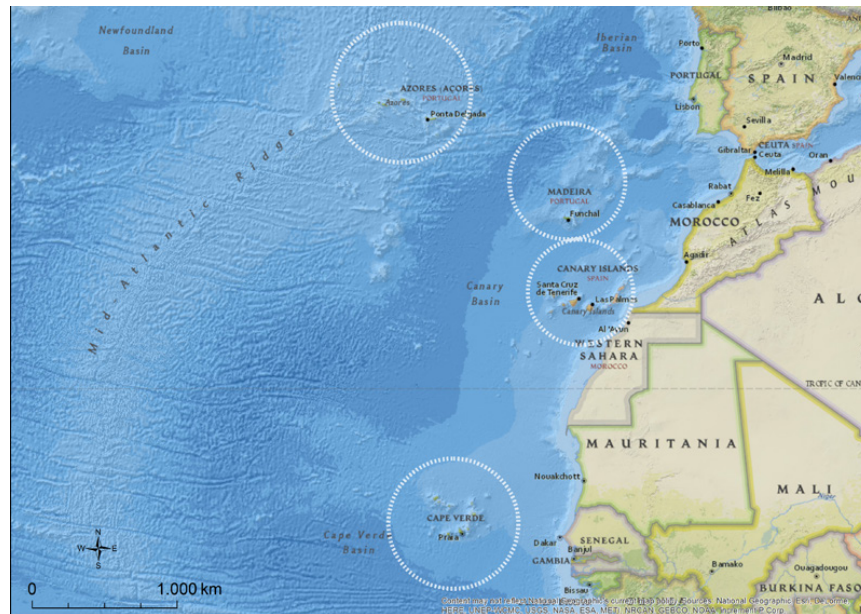
El área principal de estudio es el archipiélago canario aunque, como se ha señalado, se extenderán algunas conclusiones al resto de la Macaronesia. Esta región, engloba a cinco archipiélagos que pertenecen a tres naciones diferentes con más de 40 islas e islotes (Figura 1). Presentan similitud geológica, al tratarse de islas volcánicas de relieve complejo y biogeografía muy variada, tanto en cuanto a flora como a fauna, además de contar con un elevado número de endemismos (Fernández Palacios *et al.*, 2011). Esa rica biodiversidad es resultado de unos rasgos climáticos, en cierta medida, parecidos. En general, se trata de regiones subtropicales bañadas por aguas relativamente frías. Las islas más septentrionales son más frías y lluviosas y las más meridionales más cálidas y secas. Todas, así como el vecino litoral africano, poseen rasgos térmicos muy suaves debido a la gran influencia oceánica. Asimismo, es un espacio geográfico de transición entre el mundo templado y el cálido tropical. No obstante, observadas estas similitudes, es preciso citar algunas diferencias sustanciales, destacando que el archipiélago de Cabo Verde muestra rasgos climáticos sensiblemente distintos al resto de la Macaronesia. Éste registra temperaturas notablemente más cálidas y, sobre todo, un régimen pluviométrico típicamente tropical con un máximo estival, frente al resto del territorio (Azores, Madeira, Salvajes y Canarias), con un máximo netamente invernal con un régimen pluviométrico análogo al de las regiones mediterráneas. En todos los casos el relieve determina el reparto espacial de las precipitaciones.

Es importante señalar, además, la compleja estructura vertical de la troposfera en la región y, en especial en Canarias, debido a la presencia constante de una inversión térmica que genera dos ambientes climáticos bien diferenciados. La capa superficial con un espesor medio de 1250 m (Dorta, 1996) influenciada por el océano y la circulación de los vientos alisios y el estrato por encima de la inversión gobernado predominantemente por la circulación general que, dependiendo

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental *Cuadernos Geográficos* 57(2), 27-52

de la altitud es de entre el cuarto y tercer cuadrante (Martín *et al.*, 2012). Esta estructura resulta determinante para cualquier análisis climático puesto que, en realidad, suponen dos espacios geográficos claramente definidos: las áreas costeras y de altitud media (medianías) por un lado, donde se concentra la totalidad de la población, y la alta montaña, por otro, con una notable menor influencia oceánica y rasgos climáticos bien diferenciados.

Figura 1. Localización de las Islas de la Macaronesia



Como se ha señalado, las islas de tamaño reducido son laboratorios muy relevantes para poder estudiar tanto el cambio en las condiciones climáticas como los efectos. En primer lugar, Canarias, y toda la Macaronesia, supone un excelente observatorio natural para estudios de variabilidad en los patrones de circulación para el Atlántico Norte (García Herrera, *et al.*, 2001) al constituir una importante zona climática de transición en el Atlántico Norte suroriental (Marzol y Máyer, 2012; Cropper, 2013), ya que se ubica entre las circulaciones templada y tropical. En segundo lugar, al ser islas, son espacios especialmente vulnerables (Petzold y Ratter, 2015); tanto desde una perspectiva natural, sobre todo, en cuanto a pérdida de biodiversidad, como humana, esencialmente en lo que respecta a su dependencia energética, alimentaria y suministro de agua potable (Ratter y Petzold, 2012). Aspectos estos que pueden agravarse por los impactos derivados de los fenómenos meteorológicos extremos a los que son especialmente vulnerables todas las áreas litorales del planeta. Por todo ello el espacio geográfico analizado es de gran interés, con un gran valor estratégico en todos los sentidos.

3. Evidencias y magnitud del cambio

Los datos de estaciones meteorológicas en Canarias son escasos y/o con series cortas, por lo que es complicado poder elaborar estudios sobre tendencias. De hecho, no es hasta época muy reciente cuando comienzan a aparecer publicaciones al respecto. No obstante, en la actualidad ya son

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

32

numerosos y diversos los trabajos que comienzan a constatar cambios significativos en ciertas variables climáticas.

La temperatura y la precipitación son los elementos climáticos más analizados ya que, como en el resto del planeta, cuentan con bases de datos más largas y fiables y, por tanto, en los que mejor pueden evaluarse los cambios o tendencias; sobre todo la primera de las citadas variables. Así, la temperatura es el elemento más estudiado y el que presenta resultados con mayor certidumbre y una significación estadística más evidente. La precipitación, por su parte, al ser una variable mucho más complicada de analizar muestra resultados más limitados y con una mayor incertidumbre en las tendencias y menor significación estadística. En esta región del globo la irregularidad pluviométrica es uno de los principales rasgos, a lo que se añade una topografía de enorme complejidad que dificulta, aún más, cualquier tipo de análisis temporal y espacial de las precipitaciones.

Otras variables estudiadas son la humedad relativa, la evaporación, la presión, que es analizada con relación a la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) e, indirectamente así, la circulación de los vientos alisios. También hay estudios sobre el ascenso del nivel del mar y, aunque de manera más general, el cambio en la temperatura superficial del mismo. Por último, se han publicado algunos trabajos sobre previsible efectos del calentamiento y tendencias de futuro.

3.1. Las temperaturas

Como se ha señalado, el análisis de las temperaturas es el que muestra resultados más concluyentes y más sólidos desde una perspectiva estadística. El tratamiento de las series, la mayoría de ellas previamente homogeneizadas, señala incrementos apreciables.

Si se analizan los datos pormenorizadamente, se puede apreciar la diversidad de investigadores e instituciones que han publicado sobre el tema y que, además, trabajan a escalas distintas. Así, se entiende que algunas conclusiones muestren ciertas diferencias entre los autores aunque, en general, los resultados sean similares y concluyentes o, al menos, en el mismo sentido en cuanto a tendencias estadísticas. Hay publicados un total de seis trabajos que se podrían dividir en dos grupos. El primero estaría conformado por estudios de gran detalle espacial con el empleo de un elevado número de estaciones meteorológicas locales (Esquivel *et al.*, 2012; Luque *et al.*, 2014; Sanroma *et al.*, 2010). El segundo corresponde a estudios que analizan la Macaronesia en su conjunto, con menor profundidad espacial, utilizando datos de las estaciones meteorológicas principales, que poseen series más largas, incluyendo también en sus resultados análisis estacionales (Cropper, 2013; Cropper y Hanna, 2014). Así, en el trabajo más amplio sobre calentamiento en la Macaronesia sólo se usan cuatro observatorios para el caso de Canarias (Cropper y Hanna, 2014). En definitiva, los dos grupos señalados son absolutamente complementarios. El análisis se completa con algunas publicaciones algo más antiguas y con menor detalle tanto espacial como temporal (Sperling *et al.*, 2004).

Se observa en las publicaciones que las conclusiones generales son similares, aunque el primer grupo, al trabajar con mayor detalle espacial, demuestra que el ascenso es muy irregular, según sectores, a escala local. Además, Cropper (2013) señala incrementos superiores en su serie -1973-2012- que Martín y colaboradores (2012) y Luque y colaboradores (2014) -1944-2010-. No obstante en todos los casos el ascenso térmico más marcado se produce, claramente, a partir de los años 70-80.

En síntesis, las principales conclusiones indican un incremento térmico generalizado aunque con matices espaciales y temporales (Cuadro 1), destacando las siguientes cuestiones:

- Aumento térmico general entre 1901 y 2010 para toda la región macaronésica, incluyendo el archipiélago canario (Cropper and Hanna, 2014).
- Ascenso térmico pronunciado en los valores mínimos, mucho más que en los máximos (Martín *et al.*, 2012; Luque *et al.*, 2014; Sanroma *et al.*, 2010).
- Ese incremento térmico nocturno se traduce en el aumento apreciable del número de noches tropicales, aquellas con más de 20°C (Máyer y Marzol, 2014).
- Como consecuencia de ello se produce una clara tendencia hacia la disminución de la amplitud térmica diaria (Martín *et al.*, 2012; Luque *et al.*, 2014; Sanroma *et al.*, 2010).
- Según los investigadores del primer grupo, el aumento de las temperaturas es más evidente, sobre todo, en la alta montaña (Martín *et al.*, 2012; Sanroma *et al.*, 2010), por encima de la inversión térmica que también señalan Sperling y colaboradores (2004) aunque con una serie más corta.
- Este mismo reparto térmico espacial, con un mayor incremento en la montaña, se repite en espacios insulares de características geográficas y climáticas similares (Díaz *et al.*, 2011), lo que da consistencia científica a este resultado. Sin embargo, los autores del segundo grupo no constatan esa diferencia espacial, probablemente porque trabajan a escala más general (Macaronesia) y señalan incrementos térmicos menores.
- Aumento de las temperaturas, evidente, sobre todo, a partir de los años 70-80 del siglo XX, con un consenso casi unánime en ese sentido (Sperling *et al.*, 2004; Martín *et al.*, 2012; Cropper, 2013; Cropper y Hanna, 2014; Luque *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2012).
- Ese ascenso es consistente con el registrado en el resto del planeta (IPCC, 2013) pero con incrementos superiores a la media global (0,27°C entre 1981 y 2010), durante las últimas décadas, no sólo en Canarias sino en todos los archipiélagos macaronésicos (Cropper y Hanna, 2014).
- En ese sentido, el aumento de temperaturas es similar a los archipiélagos que más se calientan a escala planetaria como Mauricio o Bahamas (Cropper y Hanna, 2014).
- El ascenso es más pronunciado en verano (Cropper y Hanna, 2014).
- El incremento se hace 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)⁵.
- Los datos indican cambios en las tendencias en relación con fenómenos globales. Es el caso de la erupción del Pinatubo -1991- y un posterior enfriamiento y los episodios de Niño intenso como el de 1997-1998 con un acusado calentamiento (Cropper, 2013), tal y como también ocurre en el resto de la superficie terrestre.
- Por último, es importante destacar que las temperaturas muestran descensos, aunque no significativos estadísticamente, en la primera mitad del siglo XX, en especial entre 1911 y 1940⁶.

5. Es llamativa esa diferencia entre las dos publicaciones (Cropper, 2013 y Hernández *et al.*, 2012). El ascenso tan destacado –excesivo– que señalan Hernández y colaboradores (2012) de 0,71°C/década para la isla de El Hierro podría ser debido al desconocimiento de los metadatos de la estación del aeropuerto de El Hierro y, por tanto, a probables inhomogeneidades estadísticas en la serie.

6. Es importante destacar que las estaciones meteorológicas de este periodo para Canarias sólo se refieren a Izaña y, sólo desde 1931, también a Santa Cruz de Tenerife.

Cuadro 1: Variaciones estadísticamente significativas de la temperatura (°C/década) en Canarias según las publicaciones más relevantes

Publicación	Ámbito	Serie	Variable	Variación (°C)	Sector/°C/Periodo de mayor ascenso
Sperling <i>et al.</i> , 2004	Tenerife	1950-1999 1972-1999	T. Media	Izaña: 0,16 Tenerife Norte: 0,6	Alta Montaña: 0,45°C (1970-1999)
Sanroma <i>et al.</i> , 2010	Tenerife	1916/25-2006	T. Media	Santa Cruz: 0,10 / Izaña 0,13	Costa: 0,29°C (1948-2006) Tmin
		1916/25-2007	T. Mínima	Santa Cruz: 0,15 / Izaña 0,13	
		1948-2006	T. Media	Santa Cruz: 0,17 / Izaña 0,19	
		1948-2007	T. Mínima	Santa Cruz: 0,29 / Izaña 0,23	
Martín <i>et al.</i> , 2012	Tenerife	1944-2010	T. Media	Promedio: 0,09	Alta Montaña: 0,32°C (1970-2010) Tmin
		1944-2010	T. Mínima	Promedio: 0,17	
		1970-2010	T. Media	Promedio: 0,17	
		1970-2010	T. Mínima	Promedio: 0,25	
Cropper, 2013+	Macaronesia	1973-1999	T. Media	0,20-0,70	Fuerteventura: 0,50°C (1973-2012) Tmed
		1973-2012	T. Media	0,27-0,50	
Cropper and Hanna, 2014	Macaronesia	1901-2000	T. Media	Promedio: 0,02*	Verano: 0,40°C (1981-2010) Tmed
		1981-2010	T. Media	Promedio: 0,30*	
		1981-2010	T. media (Verano)	Promedio: 0,4	
Luque <i>et al.</i> , 2014	Gran Canaria	1946-2010	T. Media	Promedio: 0,09	Alta Montaña: 0,31°C (1970-2010) Tmin
		1946-2010	T. Máxima	Promedio: 0,06	
		1946-2010	T. Mínima	Promedio: 0,12	
		1970-2010	T. Media	Promedio: 0,17	
		1970-2010	T. Máxima	Promedio: 0,17	
		1970-2010	T. Mínima	Promedio: 0,17	

*No es estadísticamente significativo

Fuente: Sperling *et al.*, 2004; Esquivel *et al.*, 2012; Cropper, 2013; Cropper and Hanna, 2014; Luque *et al.*, 2014; Sanroma *et al.*, 2010. Elaboración propia.

Los comportamientos térmicos indicados se apoyan, la mayoría de ellos, en robustos procedimientos estadísticos que, además, al estar en consonancia con los resultados obtenidos en otros espacios similares, aumentan su fiabilidad. Se puede confirmar, por tanto, que el calentamiento en el Atlántico Norte Suroriental es una realidad incuestionable. Esto queda constatado, además, por otros estudios que confirman el ascenso térmico en los otros archipiélagos macaronésicos, especialmente desde los años 70 y para el caso de Madeira con ascensos también algo superiores en las mínimas que en las máximas (Santos *et al.*, 2004). Ese ascenso es, en general, algo inferior a la media global, siendo para el caso de Canarias en los últimos 110 años (1901-2010) de un 67% con respecto al promedio mundial (Cropper & Hanna, 2014), aunque, como se ha citado, con una aceleración muy significativa en el aumento térmico en las últimas décadas, aproximadamente en los últimos 40 años.

3.2. Las precipitaciones

La lluvia es un elemento más difícil de tratar desde una perspectiva estadística y, mucho más, en el área de estudio en el que, probablemente, la irregularidad sea su principal característica.

7. Sperling *et al.* (2004) señalan un aumento de 0,6°C por década para el observatorio del aeropuerto de Tenerife Norte. Sin duda se trata de un incremento «extraño» en cuanto al valor excesivamente elevado con respecto al resto de las estaciones e, incluso, en relación a los valores a escala planetaria y del establecido por los otros autores. Es posible que en ese cálculo no se haya tenido en cuenta los metadatos de la estación meteorológica, puesto que se produce un cambio relevante en la ubicación de la misma en 1976. Ese cambio queda reflejado en diferentes pruebas de homogeneidad. Por tanto, es probable que se trate de un error que, además, podría incidir en las conclusiones a las que llegan los autores para el estudio de los bosques de nieblas en Tenerife.

8. Al igual que con Sperling y colaboradores (2004) se indica un incremento térmico igual o superior a 0,6°C por década en algunos observatorios y hay errores e la denominación de los observatorios («Las Palmas de Tenerife» y «Hierro»), por lo que se incluye en el cuadro el valor más significativo de la estación de Fuerteventura en la serie más larga (1973-2012).

En esta línea, la gran variabilidad temporal, con coeficientes de variación superiores al 40% en numerosos casos (Dorta, 2007; Cropper y Hanna, 2014; Máyer *et al.*, 2017) y una gran concentración de la lluvia (Marzol *et al.*, 2006; Marzol y Máyer, 2012; Máyer y Marzol, 2017; González y Bech, 2017) hacen necesarios análisis estadísticos con series muy largas. Es muy complicado, por tanto, el estudio de tendencias debido a la mencionada irregularidad (De Luque y Martín, 2011), a la cortedad de las series -la mayor parte de los observatorios comienzan a funcionar entre los años 50 y 70- y, también, a la gran variabilidad espacial.

Aún así, hay un total de diez trabajos publicados, muy diversos en cuanto a temática y escala (García-Herrera *et al.*, 2003; Del Río *et al.*, 2009; De Luque y Martín-Esquivel, 2011; Hernández *et al.*, 2012; Tarife *et al.*, 2012; Cropper, 2013; Cropper y Hanna, 2014; Máyer *et al.*, 2015; Sánchez-Benitez *et al.*, 2016; Máyer-Suárez *et al.*, 2017). Los estudios señalan, de forma sintética, un descenso general de la precipitación (Máyer *et al.*, 2015; García-Herrera *et al.*, 2003; De Luque y Martín-Esquivel, 2011; Máyer-Suárez *et al.*, 2017), aunque con resultados en los que las tendencias son poco significativas, al igual que en Azores y Madeira (Cropper, 2013) y un cierto incremento en la intensidad de la lluvia (Tarife *et al.*, 2012; Máyer y Marzol, 2017). No obstante, algunas investigaciones más recientes, que cubren un elevado número de estaciones y abarcan a todo el archipiélago, remarcan la dificultad en establecer tendencias claras por la citada variabilidad interanual y ponen en entredicho las conclusiones establecidas con series de datos cortas (Sánchez-Benítez *et al.*, 2016), aunque los niveles de significación estadística crean diferencias en los resultados de los análisis (Máyer *et al.*, 2017). En definitiva, las principales características son las siguientes (Cuadro 2):

- La gran irregularidad de las precipitaciones impide obtener resultados del todo concluyentes y la significación estadística resulta ser escasa.
- Aún así, existe una tendencia general, aunque con poca significación estadística, hacia 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), especialmente de esta última, aunque no así en otros sectores (Máyer *et al.*, 2017) pero, de nuevo, con poca significación estadística.
- El más reciente de todos los trabajos muestra la gran complejidad en los análisis espaciales y temporales. A escala de detalle se indica un descenso desde 1970, con significación estadística moderada, en invierno pero, sobre todo, en primavera, especialmente en medianías y zonas altas de Gran Canaria (Máyer *et al.*, 2017). No obstante, con series más largas se señalaban descensos en otoño (Máyer *et al.*, 2015) que, sin embargo, desde 1970 muestran tendencias positivas en esta estación (Máyer *et al.*, 2017).
- El periodo más largo analizado con estaciones meteorológicas del archipiélago es de la isla de Tenerife (1919-2009) e indica un descenso pero con poca significación estadística (De Luque y Martín, 2011). En este mismo sentido, Cropper y Hanna (2014) analizan una serie más larga, pero es probable que se trate de observatorios distintos y no de una única serie⁹.
- Los descensos más acusados en algunos 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).

9. Los autores utilizan una estación meteorológica identificada como TE con una serie entre 1885 y 2012. Es muy probable que dicho observatorio se corresponda con dos ubicaciones muy diferentes (La Laguna Instituto y Aeropuerto Tenerife Norte), por lo que los datos deberían reflejar una marcada inhomogeneidad que no se cita en el artículo. Una vez más se hace esencial conocer bien los metadatos de los observatorios.

- También es cierto que algunos sectores muestran aumentos, aunque poco relevantes y 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).
- La certeza o evidencia en los análisis señalan, claramente, una mayor incertidumbre que en el caso de las temperaturas. Hasta tal punto que la investigación que tiene en cuenta el mayor número de estaciones –más de 100- y con una serie relativamente larga –pero menor que otros trabajos-, apenas encuentra significación estadística en las tendencias para el semestre más lluvioso –octubre a marzo- (Sánchez-Benítez *et al.*, 2016).

Por otro lado, algunas de las publicaciones han analizado las teleconexiones climáticas con la NAO y el ENSO en cuanto a la precipitación. En este sentido, las correlaciones con la NAO, son, en general, débiles y sólo para las islas occidentales durante los meses más fríos (Cropper, 2013; Del Río, 2009; Krichak *et al.*, 2014), tanto teniendo en cuenta el total de lluvia (García Herrera *et al.*, 2001) como la intensidad (Tarife *et al.*, 2012): la mayor cantidad de precipitación y la mayor intensidad se relacionan con una NAO negativa. En ese mismo sentido, en las islas occidentales, incluyendo Gran Canaria, también existen correlaciones entre este índice y las sequías, especialmente en el mes de marzo (Hernández *et al.*, 2012): las fases positivas implican más sequías. Por consiguiente, con frecuencia, los inviernos con NAO negativas tienden a ser más lluviosos y los de NAO positivas más secos (para las islas occidentales).

También se señalan correlaciones con el ENSO. Diversos autores demuestran la relación entre las fases negativas del ENSO y un aumento de la precipitación en el archipiélago debido a cambios en la circulación en la troposfera media (500 hPa.) (Gallego *et al.*, 2001), aunque otros estudios más recientes, con series de mayor longitud, lo desmienten e indican que sólo la NAO es significativa (Sánchez-Benítez, 2016).

En esta línea, la NAO también presenta una relación con las advecciones saharianas (Moulin *et al.*, 1997; Alonso, 2007; Alonso-Pérez *et al.*, 2011). Y, asimismo, el ENSO incide en el número de días de advección sahariana. Un ENSO positivo intenso se correlaciona con inviernos con más fechas saharianas (Dorta *et al.*, 2005; Menéndez *et al.*, 2009). Los días de rasgos saharianos se caracterizan por su estabilidad atmosférica, por lo que disminuyen las jornadas de lluvia. Aunque eso no implique un descenso en el total de precipitaciones, sí puede suponer un condicionante e, indirectamente, una menor probabilidad de precipitación, y más teniendo en cuenta el aumento de la pluviosidad con los episodios de ENSO negativo.

En cualquier caso, a pesar de las citadas correlaciones, las investigaciones más recientes reflejan que la mayor dependencia de la variabilidad pluviométrica se da con las temperaturas oceánicas (SST) en el Atlántico Norte tropical (Rodríguez-Fonseca *et al.*, 2006; Sánchez-Benítez, 2016), mucho más que con las propias teleconexiones puramente atmosféricas citadas, de manera que temperaturas oceánicas anormalmente positivas incrementan los tipos de tiempo inestables responsables de la precipitación (Sánchez-Benítez, 2016).

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. et al. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental *Cuadernos Geográficos* 57(2), 27-52

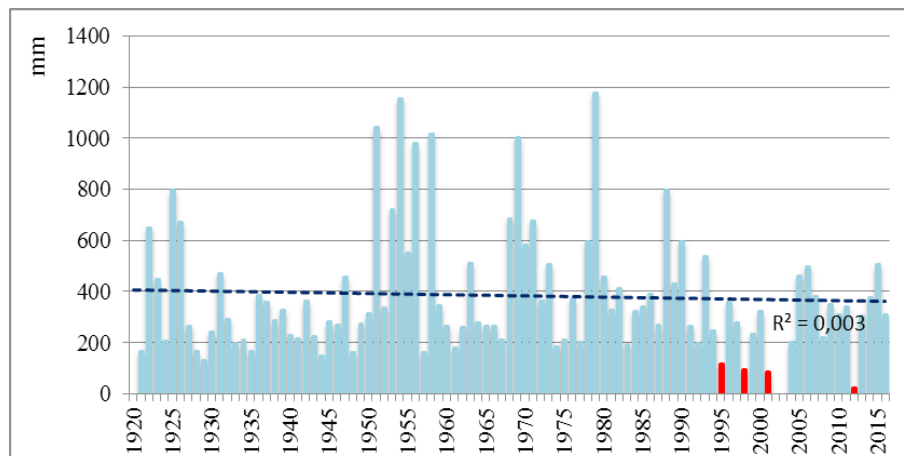
Cuadro 2: Variaciones de la precipitación en Canarias según las publicaciones más relevantes

Publicación	Serie+	Ámbito	Cuestiones más destacadas
García Herrera et al., 2003	1943-1998	Canarias	Disminución de precipitaciones anuales en Gran Canaria (-1,3%) y Tenerife (-1%). Ascenso en Lanzarote (+2,7%)
Del Río et al., 2009	1961-2006	Macaronesia	Sin significación estadística.
De Luque y Martín, 2011	1919-2009	Tenerife	Disminución de precipitación en el Norte de Gran Canaria y en general en Tenerife, especialmente costa norte (-40±20 mm). Disminución en La Palma (-40±40).
	1951-2009	Gran Canaria	
	1935-2009	La Palma	
Hernández et al., 2012	1970-2010	Canarias	Sin tendencia significativa, excepto El Hierro positiva e Izaña negativa.
Tarife et al., 2012	1970-2010	Canarias	Aumento en la intensidad de la precipitación en invierno y otoño. Descenso leve en primavera.
Cropper, 2013	1973-2010	Macaronesia	Sin significación estadística para Canarias.
Cropper y Hanna, 2014	1885-2011	Macaronesia	Sólo es significativo un incremento en Cabo Verde. Para Canarias no hay tendencia significativa.
Máyer et al., 2015	1919-2000	Canarias	Descenso en vertientes septentrionales de Tenerife y Gran Canaria, especialmente en otoño.
Sánchez-Benítez et al., 2016	1961-2013	Canarias	En general no resultan significativas las tendencias para el semestre octubre a marzo
Máyer et al., 2017	1970-2013	Canarias	Descenso. Sobre todo en primavera y en medianías y zonas altas de Gran Canaria.

+Las series señaladas hacen referencia a las más largas de las estudiadas.

Fuente: García Herrera et al., 2003; Del Río et al., 2009; De Luque y Martín, 2011; Hernández et al., 2012; Tarife et al., 2012; Cropper, 2013; Cropper y Hanna, 2014; Máyer et al., 2015; Sánchez-Benítez et al., 2016; Máyer et al., 2017. Elaboración propia

Figura 2. Precipitaciones en el semestre de concentración de lluvias en Canarias (Octubre-Marzo) en Izaña* entre 1920-2016.



*En rojo los cuatro semestres más secos de la serie.
Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Como complemento a todo lo expuesto hay que señalar que un análisis de la evolución de la precipitación en el último siglo indica, no sólo la citada tendencia decreciente, con baja significación estadística -como se narra en la bibliografía- sino, además, una intensificación de inviernos muy secos en los últimos lustros de la serie. La estación de Izaña, la que cuenta con más datos dentro

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

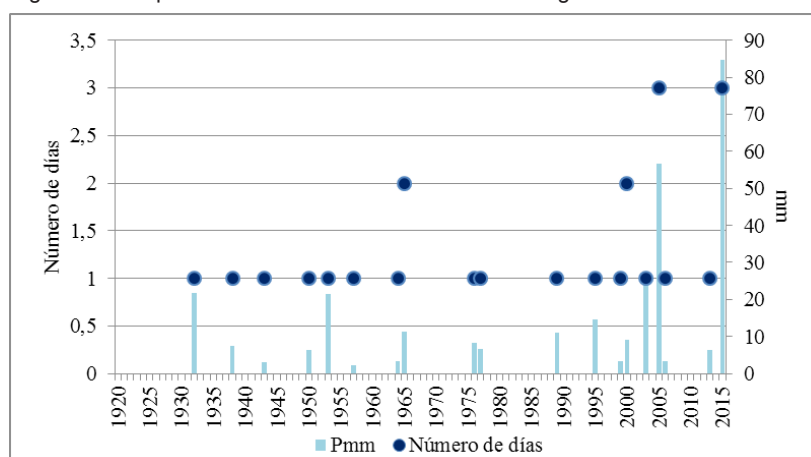
DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

38

de la red de primer orden de la AEMET -desde 1920- y, por tanto, la más adecuada para el análisis, sirve como muestra. En este caso no existe tendencia con significación estadística pero los inviernos más secos se localizan en el siglo XXI y en la última década del siglo XX. En Canarias el semestre más lluvioso se concentra entre octubre y marzo, en el que se recoge el 87,3% del total (Sánchez-Benítez *et al.*, 2016). Los inviernos (semestres) más secos se han registrado en 2011-2012, 2000-2001, 1997-1998 y 1994-1995 en orden de intensidad de déficit pluviométrico (Figura 2), lo que podría apuntar más hacia una intensificación de las sequías que a la disminución efectiva de la precipitación. Esta hipótesis se hace más probable si tenemos en cuenta el incremento en la intensificación de la precipitación ya señalada (Tarife *et al.*, 2012; Máyer *et al.*, 2017) y supone que es compatible con un aumento en la intensidad de las sequías, aunque no haya un descenso significativo de la precipitación.

Otra cuestión interesante se puede observar en los últimos años en Canarias: la distribución estacional de las precipitaciones empieza a mostrar algunas variaciones. Así, las lluvias estivales, que suponen totales inferiores al 5% del total anual de promedio (Máyer *et al.*, 2015), es decir, veranos extremadamente secos (Sánchez-Benítez *et al.*, 2016), con meses de precipitación casi nula, revelan señales de cambio en época reciente, hasta tal punto que se han producido una serie de eventos de lluvia importantes en el verano, especialmente en agosto. Los más relevantes de toda la serie se han registrado en 2015, 2005 y 2003, cada uno más intenso que el anterior (Figura 3). Su relevancia es patente al comprobar el peso de los aportes pluviométricos en el contexto anual, llegando a suponer, en el último evento, el 1700% de la precipitación media para agosto y casi el 22% del total anual, cuando el valor medio es de 1,27%. Se trata de una serie de casi 100 años en la que se ha batido, en los últimos 16 años (siglo XXI), tres veces el record de precipitación mensual para el mes de agosto. Los datos analizados para la estación de Izaña indican una tendencia significativa al usar el test de Mann-Kendall con un nivel de significación del 95%. Otros autores, con series más cortas, también encuentran tendencias al alza en la precipitación estival aunque sin significación estadística (Del Río *et al.*, 2009). Es probable que pueda tratarse de un fenómeno relacionado con una cierta tropicalización en las condiciones climáticas del archipiélago y que conectaría con un aumento de las temperaturas oceánicas en la región (Kossin, 2008; Guijarro *et al.*, 2014). Este hecho se refuerza al comprobar que los modelos climáticos señalan un incremento futuro en las precipitaciones estivales para finales de siglo entre un 10% y un 13 % (Cropper, 2013).

Figura 3. Precipitaciones máximas durante el mes de agosto en Izaña 1920-2016.



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration. Elaboración propia.

En definitiva, el comportamiento de la precipitación indica, por un lado, una disminución poco significativa de la misma y en consonancia con los resultados que muestra el IPCC a escala planetaria para la región de la Macaronesia, al igual que en buena parte del mundo mediterráneo (Trenberth, 2011). Por otro lado, algunos cambios en la distribución estacional, con episodios, cada vez más frecuentes, de naturaleza convectiva muy aislados pero intensos durante el estío.

3.3. Otras variables

Los trabajos revisados también tratan algunas otras variables, aunque con menor exhaustividad: presión, viento, humedad relativa, evaporación e insolación.

Las publicaciones sobre el comportamiento de *la presión* han tenido, como objetivo fundamental, el análisis de la relación entre la NAO y las condiciones climáticas sobre el archipiélago (García Herrera *et al.*, 2001; Cropper y Hanna, 2014) y, en segundo término, el comportamiento del anticiclón subtropical del Atlántico Norte en su flanco oriental (Alonso-Pérez *et al.*, 2011).

Cropper y Hanna (2014) señalan un incremento de la diferencia de presión entre Azores y Cabo Verde, lo que induce a pensar en un aumento significativo en la intensidad de los vientos alisios pero desde los años 70 hasta la actualidad, aumento que también señalan otros autores en todo el entorno del suroeste de la Península Ibérica, Madeira y Norte de Canarias (Guijarro, 2014). Sin embargo, en invierno, la velocidad media de los alisios siempre es menor que durante el verano, debido a la posición del Anticiclón atlántico a latitudes bajas cerca del archipiélago (Marzol *et al.*, 1991) y a la desaparición de la depresión superficial africana. En este contexto, algunos autores plantean un cambio en las condiciones de viento debido a la tendencia en la extensión del citado Anticiclón hacia el Sahara. En los meses más fríos, de diciembre a marzo, se ha demostrado que el área de altas presiones ocupa posiciones cada vez más zonales, de forma que las altas presiones se extienden desde el Atlántico Norte oriental subtropical hasta todo el Sahara septentrional. Se generan así vientos más frecuentes de dirección Este con una componente zonal (Alonso-Pérez *et al.*, 2011). Y, lo que es más importante, esta tendencia, según algunos autores, podría estar determinando un aumento en las intrusiones saharianas sobre toda esta región, especialmente desde 1979-80, casi doblando el total de material litogénico en la atmósfera, desde 10 mg/m³ (1958-1980) a 20 mg/m³ (1981-2006) para la isla de Tenerife (Alonso-Pérez *et al.*, 2011). Sin embargo otros investigadores, analizando series más largas (1941-2009) no detectan una tendencia alcista, sobre todo porque los años 40 presentan una presencia muy elevada de intrusiones de polvo sahariano (García *et al.*, 2016)

Por lo que respecta al comportamiento de la *humedad relativa* se señala que la alta montaña no presenta variaciones estadísticamente significativas (Sperling *et al.*, 2004)¹⁰, mientras que en los sectores costeros, representados por la ciudad de Santa Cruz de Tenerife se evidencia un ascenso significativo de 1,1%/década. Sin embargo, otros autores señalan, por el contrario, un descenso de la humedad relativa para explicar el incremento de 18.2 mm/década en la evapotranspiración para Canarias, incremento especialmente significativo en verano (Vicente-Serrano *et al.*, 2016).

10. De nuevo es posible que en esta publicación haya errores con los datos. El año 1940, que aparece con un valor llamativamente bajo (en realidad podría considerarse como un *outlier*) puede ser debido a la falta de datos de seis meses de ese año, entre enero y junio, por lo que las conclusiones, una vez más, podrían ser erróneas. Junio es un mes habitualmente muy húmedo, por lo que si no se tiene en cuenta la humedad relativa es muy probable que sea considerablemente más baja.

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

40

Por último, el estudio de *la insolación* no presenta tendencias significativas (Sanroma, *et al.*, 2010) en el área de estudio. Los cambios de todas las variables señaladas aparecen sintetizados en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Variaciones de otros elementos del clima

Variable	Publicación	Series+	Ámbito	Cuestiones destacadas
Viento	Cropper y Hanna, 2014	1871-2010	Macaronesia	Aumento significativo de los alisios (desde años 70)
Presión	Alonso <i>et al.</i> , 2011	1958-2006	Atlántico Norte Subtropical Oriental	Extensión de la alta subtropical hacia el Este (invierno)
Intrusiones de polvo en suspensión	Alonso <i>et al.</i> , 2011	1958-2006	Tenerife	Aumento de la cantidad de material litogénico
	García <i>et al.</i> , 2016	1941-2013	Izaña	Sin tendencias significativas
Humedad relativa	Sperling <i>et al.</i> , 2004	1931-1999	Tenerife	Incremento significativo de un 1,1%/década
Evapotranspiración	Vicente-Serrano <i>et al.</i> , 2016	1961-2013	Canarias	Ascenso medio de 18,2mm/década. Más acusado en verano
Insolación	Sanroma <i>et al.</i> , 2010	1943-2006	Tenerife	Sin tendencias significativas

+ Serie más larga estudiada

Fuente: Cropper y Hanna, 2014; Alonso *et al.*, 2011; Sperling *et al.*, 2004; Vicente-Serrano *et al.*, 2016; Sanroma *et al.*, 2010. Elaboración propia.

3.4. Fenómenos meteorológicos extremos

Los estudios sobre calentamiento global a escala planetaria y, como se ha visto, también a escala local, han constatado un cambio en las tendencias de algunas variables climáticas, la más evidente la temperatura. Sin embargo, la aparición de fenómenos meteorológicos extremos y su relación con el calentamiento es mucho más difícil de constatar puesto que se trata de eventos puntuales en el tiempo y en el espacio y habituales en cualquier latitud o espacio geográfico. El análisis de la implicación de la tendencia al calentamiento del planeta en eventos concretos es mucho más complicado de demostrar que la propia tendencia. Aún así, ya comienzan a aparecer publicaciones e informes de diverso tipo que muestran indicios en el incremento de la intensidad o frecuencia de estos fenómenos a escala planetaria (Herring *et al.*, 2015; Herring *et al.* 2016; Banholzer *et al.*, 2014). Si eso queda demostrado para otras regiones, es evidente que también pueda darse en el área de estudio analizada en este trabajo. Además, las proyecciones presentadas por el IPCC (2013) inciden en la alta probabilidad, a escala global, de que se intensifiquen los fenómenos meteorológicos extremos con el aumento térmico. En el caso de la región macaronésica es posible señalar la probabilidad de algunos cambios en diversos tipos de fenómenos.

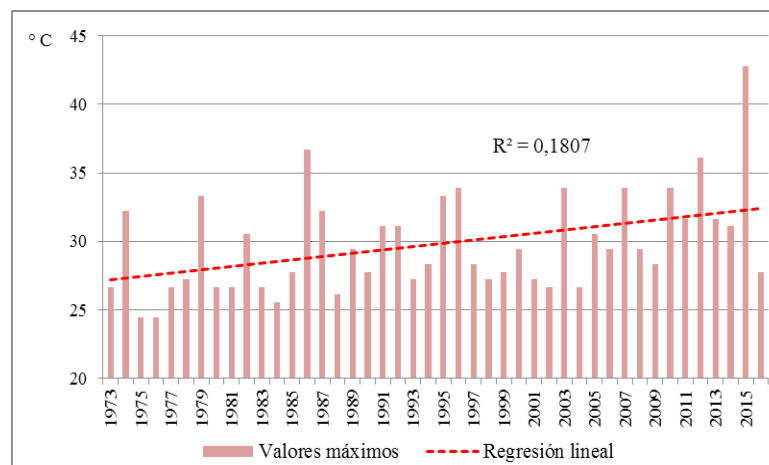
En primer lugar, el análisis de las *olas de calor* en Canarias muestra algunas cuestiones relevantes. Su número es notablemente mayor en los últimos años, con 24 episodios entre 1996 y 2015 y sólo 13 entre 1976 y 1995 (AEMET, 2015). Además, las mayores intensidades, entendidas como la temperatura máxima de la ola de calor, se dan a lo largo del siglo XXI. No obstante, la duración de los eventos no muestra cambios significativos e incluso las olas de calor más largas se han registrado en 1976 (2 episodios con más de 10 días) y 1987. 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 (Cropper y Hanna, 2014). De hecho los mayores incen-

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental *Cuadernos Geográficos* 57(2), 27-52

dios forestales en la historia de Canarias se han producido en el siglo XXI; el mayor de los cuales afectó a casi 36000 Has (MARM, 2007) en tres islas de manera simultánea en julio de 2007. En total, los tres incendios calcinaron el 41,53% de la superficie forestal quemada de todo el país en 2007 (MARM, 2007). Asimismo, se han registrado otros grandes incendios en julio de 2009, 2012 y 2016.

Además, se han registrado numerosos records de temperatura en los últimos años, con un incremento sustancial en los registros termométricos *extremos máximos* de las series. Es el caso de varias olas de calor con valores térmicos que han superado ampliamente los máximos alcanzados hasta la fecha, pero no sólo en época estival. En primavera los extremos térmicos han sido realmente excepcionales, llegando a suponer registros cercanos a lo que sería un *outlier* desde una perspectiva estadística, como ocurrió en Lanzarote el 13 de mayo de 2015 al llegarse a una temperatura de 42,6°C, 6°C más que el valor máximo anterior registrado en 1986. La ola de calor de mayo de 2015 ha sido la de mayor intensidad de ese mes en gran parte de Canarias, especialmente en las islas orientales. En el caso de Lanzarote el análisis de los datos de mayo para una serie de 43 años constata, con el test de Mann-Kendall, un aumento estadísticamente significativo de los valores máximos (Figura 4).

Figura 4. Evolución entre 1973 y 2016 de las temperaturas máximas de mayo en Lanzarote (Aeropuerto)



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration. Elaboración propia.

Asimismo, todas las estaciones de primer orden, excepto el aeropuerto de Gran Canaria, han registrado los máximos absolutos de sus respectivas series en el siglo XXI en las olas de calor de 2001, 2003, 2007 y 2012, además de la citada de 2015 (Cuadro 4). Estos datos podrían servir de evidencia para demostrar también la extensión de la temporada estival hacia la primavera, tal y como está ocurriendo en otros espacios (Jansá *et al.*, 2016) y el alargamiento del periodo de afección de olas de calor muy intensas, con valores por encima de la 35°C¹¹.

11. En marzo de 2017 se han superado los valores máximos en Tenerife Sur y La Palma aeropuerto.

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

42

Cuadro 4. Temperaturas máximas absolutas para el mes de mayo en Canarias (estaciones principales).

Estación	Serie	Temperatura (°C)	Fecha
La Palma-Aeropuerto	1970-2016	32.4	10/05/2007
El Hierro-Aeropuerto	1973-2016	31.4	11/05/2007
Tenerife Sur-Aeropuerto	1980-2016	37.7	13/05/2012
Tenerife Norte-Aeropuerto	1941-2016	37.6	21/05/2003
Santa Cruz de Tenerife	1920-2016	36.4	13/05/2015
Izaña	1920-2016	26.0	29/05/2016
Gran Canaria-Aeropuerto	1951-2016	36.0	15/05/1964
Fuerteventura-Aeropuerto	1967-2016	36.8	13/05/2015
Lanzarote Aeropuerto	1972-2016	42.6	13/05/2015

Fuente: AEMET. Elaboración propia

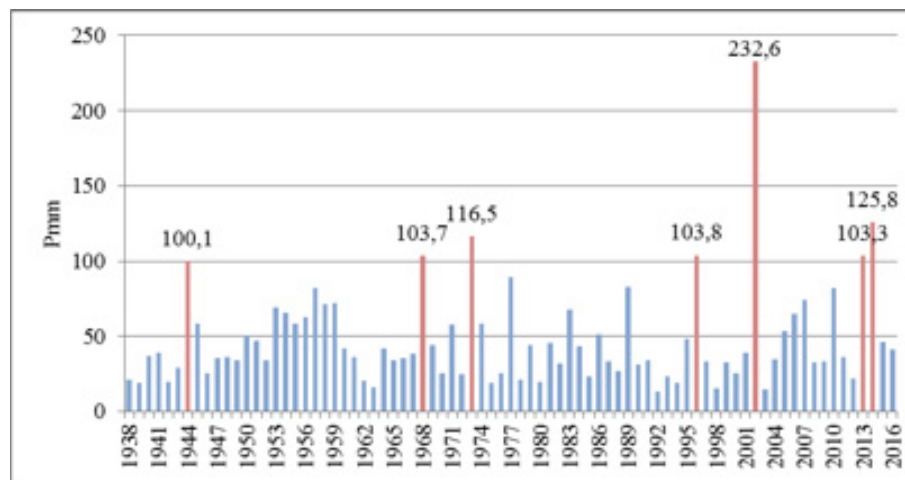
Por otro lado, aunque algunos autores señalan un descenso en los eventos severos de precipitación que sería el responsable de la disminución en el total (García-Herrera *et al.*, 2003), otros investigadores, con trabajos más recientes y series considerablemente más largas, apuntan una tendencia hacia un aumento en la concentración de la precipitación (Tarife *et al.*, 2012; Máyer *et al.*, 2017). Lo cierto es que se han registrado numerosos episodios de *precipitación torrencial* muy recientes, en el siglo XXI, que han superado los máximos establecidos para una gran parte de las series. (Dorta, 2007; Díez *et al.*, 2015). Si bien es cierto que todos los parámetros que miden la irregularidad de la precipitación indican que las estaciones meteorológicas canarias presentan los mayores índices del país -como lo ponen de manifiesto sus coeficientes de variación- la realidad es que numerosos observatorios han registrado sus máximos en los últimos años, en algunos casos con valores excepcionalmente altos. Es el caso de Santa Cruz de Tenerife, una de las estaciones meteorológicas con la serie de datos de mayor longitud de todo el archipiélago (Figura 5). 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. Además, las dos fechas con valores más elevados se producen en el siglo XXI (2002 y 2014).

En este sentido, como se señaló en el apartado de la precipitación, una NAO negativa y un aumento de la SST se convierten en condicionantes en el aumento de la pluviosidad. Un buen ejemplo de ello fue el invierno 2009-2010, con una anomalía térmica positiva en la región de hasta 2°C (Ball, 2011) constituyendo el segundo índice negativo NAO más intenso desde 1865 (Cropper y Hanna, 2014). En esos tres meses se sucedieron episodios de fuerte inestabilidad no sólo en Canarias sino también en Madeira (Fragoso *et al.*, 2012) con graves daños y víctimas mortales, destacando los episodios del 1 de febrero en Canarias (Díez *et al.*, 2015) y el 20 del mismo mes en Madeira. En esta isla se registraron más de 40 víctimas mortales debido a la torrencialidad de la lluvia, llegando a superar los 144 mm en Funchal (IPMA). En Madeira, en 2010 se registraron las tres fechas de mayor precipitación diaria de todo el siglo XXI y uno de los episodios más graves desde que se cuenta con información meteorológica (IPMA).

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental *Cuadernos Geográficos* 57(2), 27-52

43

Figura 5. Precipitaciones máximas diarias en Santa Cruz de Tenerife (1938-2016) (más oscuro valores superiores a 100 mm)



Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Pero, de 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*. Ya se han mencionado los episodios recientes de precipitaciones estivales como indicios de lo que se podría denominar como una incipiente tropicalización de las condiciones climáticas de la región analizada. Junto a ello, otro síntoma de este proceso podría ser la llegada de tormentas y ciclones tropicales o huracanes.

Cerca del archipiélago de Cabo Verde, y al occidente del mismo, está constituida la región en la que se forman la mayor parte de los ciclones tropicales más intensos que afectan al Caribe y América Central y del Norte (Cropper, 2013). Se trata de un espacio amplio con temperaturas oceánicas elevadas y las condiciones ciclogénicas adecuadas para la formación de depresiones, tormentas y ciclones tropicales. En condiciones normales la trayectoria de esos centros de baja presión siguen una dirección Oeste, hacia el Caribe y el Golfo de Méjico. Sólo, de forma puntual, estos han tenido trayectorias anómalas, más orientales, y se han acercado a las Azores. No obstante, recientemente, algunos de ellos han seguido itinerarios centrados en el Atlántico Este, afectando a los archipiélagos de Maderia y Canarias. Aunque su análisis exhaustivo escapa a los objetivos de este artículo es posible hacer una aproximación.

Analizar las tendencias en la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales es una labor difícil. En primer lugar porque son fenómenos muy aislados y muy irregulares en su aparición y, en segundo lugar, porque no hay una adecuada disponibilidad de registros históricos (Knutson *et al.*, 2010). Estas cuestiones se agravan en el Atlántico oriental. De hecho, algunos eventos no son catalogados como tales en la principal base de datos (NOAA), como ocurrió con la tormenta ST_2 (Martín *et al.*, 2005). En cualquier caso, el análisis de la citada base de datos permite comprobar como los fenómenos de origen tropical presentan una cierta recurrencia en los últimos años en la región analizada (Figuras 6 y 7). La tormenta tropical Delta, en noviembre de 2005, ampliamente estudiada (Martín *et al.*, 2005; Jorba *et al.*, 2008), supuso una señal de alarma ante estos episodios. La temporada de huracanes de 2005 marcó un hito climático, puesto que no sólo se limitó a Delta, sino que también se formó el ciclón Vince de categoría 1 en la escala de Saffir-

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

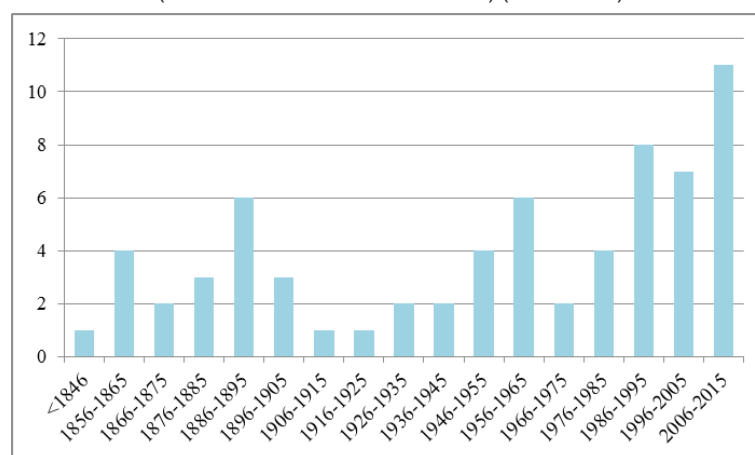
DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroccidental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

44

Simpson (Franklin, 2006), el primer ciclón tropical, constatado científicamente, que alcanzó la península Ibérica (Domínguez-Castro *et al.*, 2013). Además, 2005 fue el año con más huracanes en el Atlántico Norte, con más huracanes de categoría 5 y la temporada más larga de la historia, presentándose la última tormenta en enero de 2006.

A pesar de haber constituido una temporada excepcional, en años posteriores han continuado registrándose fenómenos de esta naturaleza en el entorno de Canarias-Azores-Golfo de Cádiz (Figuras 6 y 7). En 2010 el ciclón tropical Otto, que ya llegó a Madeira como ciclón extratropical (Cangialosi, 2010), y en el verano-otoño de 2012 Gordon y Nadine, que ha sido uno de los huracanes más longevos desde que se cuenta con datos (Brown, 2013).

Figura 6: Evolución del número de tormentas y ciclones tropicales en el Atlántico Norte Suroccidental (Azores-Canarias-Golfo de Cádiz) (1845-2015)

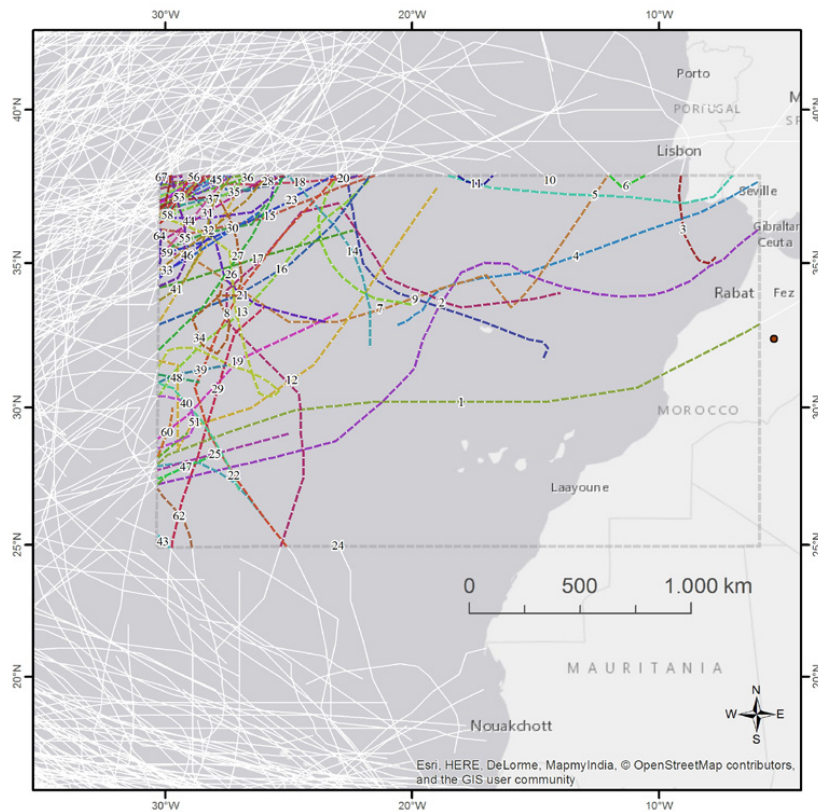


Fuente: NOAA. Elaboración propia.

No obstante, es preciso remarcar que también se han registrado fenómenos de este tipo en el pasado preinstrumental, aunque mucho más espaciados en el tiempo. Son los casos de noviembre de 1724 (Domínguez-Castro *et al.*, 2013), noviembre de 1826 (Bethencourt y Dorta, 2010) y octubre de 1842 (Vaquero y García Herrera, 2008), lo que indica la posibilidad real de estos eventos en la región analizada sin influencia directa del cambio climático actual. Si, además, se tiene en cuenta que el calentamiento diferencial sufrido por el Atlántico Norte Suroccidental, entorno a la corriente fría de Canarias y en el que se inserta la región macaronésica, es superior al del sector occidental de la misma cuenca oceánica (Kossin, 2008; Guijarro *et al.*, 2014) con un considerable aumento térmico de 0.28°C/década (Salat *et al.*, 2017), se podría plantear la hipótesis de una mayor facilidad para la generación de trayectorias más orientales en este tipo de centros de presión (Figura 6). Es importante señalar que algunos estudios indican que el ascenso térmico de la superficie oceánica en la región de Canarias se estima en más de 2°C/siglo, siendo además estadísticamente significativo (Guijarro *et al.*, 2014). Se origina así una mayor probabilidad de la aparición de fenómenos de fuerte inestabilidad de origen tropical y/o de naturaleza convectiva, con un incremento en el riesgo de su aparición en el triángulo constituido por Azores, Canarias y el Suroeste de la Península Ibérica.

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

Figura 7: Trayectorias de tormentas y ciclones tropicales en el Atlántico Norte Suroriental (Azores-Canarias-Golfo de Cádiz) (1724-2015)

Fuente: NOAA, Martín *et al.*, 2005; Vaquero *et al.*, 2008; Domínguez-Castro *et al.*, 2013. Elaboración propia.

4. Proyecciones de futuro. Aspectos esenciales

Toda la información expuesta en los anteriores párrafos hace referencia a las variaciones climáticas ya acontecidas sobre Canarias y algunas regiones de la Macaronesia. La siguiente cuestión a plantear, aunque no es el objetivo principal de este trabajo, es qué ocurrirá en el futuro, cuáles serán las tendencias a lo largo del siglo XXI. Para ello, es evidente que sólo se puede acudir a los modelos climáticos y a los trabajos publicados basados en los mismos, con especial atención a los informes del IPCC. Al tratarse de resultados de modelos, existe un grado importante de incertidumbre y, mucho más, a la escala de islas tan reducidas como las de la Macaronesia. Son, por tanto, sólo tendencias generales y aproximadas que obedecen a regionalizaciones climáticas de los grandes modelos.

En los aspectos más destacados se confirman las tendencias que ya han sido constatadas y que este trabajo pone en evidencia. La primera de ellas es el ascenso de las temperaturas. Se estiman incrementos importantes para toda la región macaronésica (Santos *et al.*, 2004; Cropper, 2013) y, específicamente, para el archipiélago canario, con un aumento de entre 1°C y 2,7°C para finales del presente siglo (Cropper, 2013). En cualquier caso, depende del escenario elegido en función

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. *et al.* (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

46

de las emisiones globales de CO₂. Los estudios más recientes y exhaustivos publicados por la AEMET permiten también un análisis estacional dependiendo del escenario de emisiones y del método estadístico empleado. Para las temperaturas mínimas, se señalan aumentos, para finales de siglo de entre 1,8°C y algo más de 3°C, (AEMET, 2015). En las temperaturas máximas los incrementos térmicos son muy similares y las diferencias estacionales sólo indican un mayor ascenso térmico general en el otoño (Cuadro 5). Por otro lado, algunos investigadores señalan que el aumento de las máximas anuales se explicaría en función de cambios futuros en la humedad edáfica y la nubosidad. En este sentido, es previsible, según los modelos de alta resolución aplicados a Canarias, que a mediados del siglo actual, se reduzca la humedad del suelo y disminuya la extensión de la capa de nubes (hasta en un 15%). Las dos cuestiones hacen aumentar las temperaturas máximas al facilitarse la radiación solar directa y producirse una menor evapotranspiración (Expósito *et al.*, 2015). Los ascensos de las temperaturas, a su vez, señalan incrementos más marcados cuanto mayor es la altitud, traduciéndose en ascensos térmicos esperados más acusados en la alta montaña (Expósito *et al.*, 2015), tal y como ya está ocurriendo y se ha señalado a lo largo de este trabajo (Martín *et al.*, 2012; Sanroma *et al.*, 2010).

Cuadro 5. Cambios estimados para finales de siglo (2071-2100) según diferentes escenarios de emisiones

		Anual			Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
		RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5
<i>Tmed</i> (°C) *	(2071-2100)	2.7	1.7	1.4												
<i>Tmax</i> (°C)	(2071-2100)	3.4	2.3	1.9	3.0	2.0	1.7	3.1	2.3	1.7	4.0	2.7	2.2	3.5	2.3	1.9
<i>Tmin</i> (°C)	(2071-2100)	3.3	2.3	1.8	3.4	2.4	1.8	3.7	2.8	2.0	4.0	2.9	2.2	3.6	2.6	1.9
<i>Precip</i> (%)	(2071-2100)	-23.4	-16.3	-12.2	-19.3	-7.9	-6.7	-23.1	-16.1	-9.5	-31.6	-23.6	-15.6	-19.9	-15.1	-11.5

* Cropper, 2013.

Fuente: AEMET, 2015. (Regionalización estadística análogos).

No obstante, los grandes modelos indican un ascenso térmico mucho más pronunciado en el vecino desierto del Sáhara que en el Atlántico (IPCC, 2013) por lo que es previsible una intensificación en los máximos térmicos que se registren durante las olas de calor puesto que el manantial de aire tropical continental será mucho más cálido. En esta línea, es previsible, además, que un incremento en la virulencia de los episodios de calor implique un mayor riesgo de incendio forestal. En este contexto, la duración de las olas de calor muestra una gran disparidad según el modelo y el escenario empleado, desde 20 días hasta 80 días más cada año (AEMET, 2015).

Al mismo tiempo, ese calentamiento diferencial entre la región de Canarias –oceánica- y la del Norte de África –continental-, sobre todo en verano, pudiera producir un incremento en la intensificación de los vientos en las costas situadas en los flancos orientales de los anticiclones semipermanentes subtropicales como consecuencia de la profundización de las bajas térmicas continentales (Semedo *et al.*, 2016). Por tanto, es probable que se incremente el flujo de los alisios. Además, se apunta hacia un ligero ascenso de la humedad relativa estival en la primera capa del alisio y descenso de la misma en las capas medias de la troposfera, por lo que algunos autores sugieren una tendencia futura hacia una disminución en la altitud del mar de nubes (Sperling *et al.*, 2004). Al mismo tiempo también podría producirse un incremento de las advecciones saharianas durante los meses más fríos por la, ya citada, mayor zonalidad del anticiclón (Alonso-Pérez *et al.*, 2011).

Por lo que respecta a las precipitaciones es una variable, como ya se ha indicado, mucho más difícil de modelizar por lo que las tendencias futuras presentan un alto grado de incertidumbre y baja significación estadística (Expósito *et al.*, 2015). Aún así, según los trabajos publicados, parece

que, en el futuro, las precipitaciones continuarán con el relativo descenso que ya se ha constatado levemente en el pasado reciente. De los cuatro archipiélagos de la Macaronesia, el más húmedo, Azores, muestra una ligera tendencia al alza, así como Cabo Verde (Cropper y Hanna, 2014). No obstante, el primero de ellos mostrará cambios en la distribución anual de la lluvia, con un incremento en el invierno y un descenso en el resto de las estaciones (Santos *et al.*, 2004). Por el contrario, Canarias es el que presenta la mayor disminución, especialmente significativa en invierno (Cropper, 2013), evaluada en una caída de entre un 10% y un 37% para la citada estación, según los modelos del IPCC, para finales del presente siglo. Otros autores indican que los valores anuales disminuirán entre un 12% y un 23% y el descenso será sobre todo otoñal (Morata Gasca, 2014; AEMET, 2015) (Cuadro 5). También se observa una disminución de los días de lluvia para finales de siglo, con un descenso general de entre 5 y 25 días anuales así como un aumento de los periodos secos (Morata Gasca, 2014; AEMET, 2015).

En cualquier caso, lo más destacado es que todos los modelos y en todos los escenarios indican siempre una tendencia al descenso en las lluvias totales. En esta misma línea, estudios sobre la distribución vertical de vapor de agua, señalan la reducción de su contenido en las nubes lo que, también podría conducir hacia una disminución de precipitaciones (Expósito *et al.*, 2015). No obstante, no se deben perder de vista las teleconexiones climáticas. Cualquier tendencia futura en la NAO, en menor medida en el ENSO y, sobre todo, en la temperatura de la superficie oceánica incidirá en las precipitaciones, al menos, en las islas más occidentales. Además, en el caso del ENSO su evolución futura podrá tener incidencia en la frecuencia de las intrusiones saharianas (Menéndez *et al.*, 2009). Estos índices parece ser que tienen repercusiones sólo en los meses más fríos del año, es decir, en los que se concentran las precipitaciones en la región macaronésica (excepto Cabo Verde) y es más habitual una circulación de componente Este, desde el Sáhara, responsable de las intrusiones saharianas. En esta línea, algunas investigaciones muy recientes indican una tendencia al alza en la frecuencia de El Niño, especialmente en los fenómenos de mayor intensidad (Cai *et al.*, 2014).

En otro orden de cosas, resulta muy complicado establecer ocurrencias futuras del paso de fenómenos inestables tropicales por la región puesto que, como se ha visto, su frecuencia, aunque más recurrente en los últimos años, es muy baja. No obstante, el previsible calentamiento de las aguas oceánicas del Atlántico, especialmente en su sector oriental (Guijarro *et al.*, 2014) puede favorecer un mayor riesgo de la llegada de más tormentas y ciclones tropicales hacia esos sectores (Kossin, 2008) en los que se sitúa la Macaronesia. A escala general del Atlántico es previsible que el número de ciclones tropicales se mantenga estable o incluso pueda disminuir ligeramente hacia finales del siglo pero los ciclones tropicales de mayor intensidad se incrementarán de manera muy apreciable (Knutson *et al.*, 2010).

Por último, los estudios sobre el nivel del mar a escala local indican, según los escenarios del IPCC, un incremento generalizado para el archipiélago (Fraile *et al.*, 2014), aumento del nivel del mar que ya ha sido constatado para Tenerife (Marcos *et al.*, 2013). Ahora bien, el aumento calculado en el nivel marino futuro encierra un grado importante de incertidumbre en cuanto a la exactitud de los valores para finales del siglo XXI (ascensos entre 18,6 y 131,5 cm según escenarios y sector del archipiélago). Asimismo, ese incremento no es homogéneo de manera que las islas centrales de Tenerife y Gran Canaria registrarán aumentos superiores a las costas de Lanzarote (Fraile *et al.*, 2014). No obstante los resultados están en consonancia con lo que se estima ocurra en el resto de las aguas oceánicas del planeta (IPCC, 2013; Church y White, 2011), lo que da consistencia estadística y confirma el ascenso del nivel del mar en el futuro.

5. Conclusiones

Como se ha visto, el calentamiento global es más que evidente en la región de la Macaronesia. Tomando Canarias como espacio central han quedado de manifiesto numerosas alteraciones en diversos parámetros.

Se han registrado cambios significativos en las temperaturas, con un aumento generalizado, especialmente acusado en las mínimas, en la alta montaña y en los últimos 40 años. El comportamiento pluviométrico muestra grandes incertidumbres como lo demuestra la falta de significación estadística en gran parte de los estudios. En un espacio geográfico con coeficientes de variación tan elevados es imprescindible contar con series aun mayores para poder llegar a resultados más concluyentes en este sentido. Aún así, las tendencias señalan, a un tiempo, un leve descenso general de los totales, aunque poco significativo, y una intensificación de las sequías. Al mismo tiempo existen cambios incipientes en la intensidad de la precipitación, con un incremento de la misma y comienzan a tener una cierta frecuencia episodios lluviosos estivales. En esta línea, como en gran parte del planeta, los años 70 parecen un punto de inflexión en la mayoría de las variables. Las tendencias futuras de los modelos también señalan un descenso pluviométrico generalizado aunque con variaciones importantes.

Entre los principales riesgos que se incrementan como consecuencia del calentamiento sobresalen el aumento en la intensidad de las olas de calor y, por tanto, de los incendios forestales, la ya señalada aparición de precipitaciones estivales y la posibilidad real de la llegada de fenómenos inestables de origen tropical a las islas.

Por otro lado, en el análisis de la bibliografía, se ha puesto de manifiesto la necesidad de un conocimiento profundo de la información meteorológica y geográfica local. Algunas publicaciones, emplean series sin un análisis exhaustivo de sus metadatos, lo que puede suponer problemas de fiabilidad que hacen, incluso, dar por ciertas afirmaciones que podrían ponerse en entredicho, tal y como ha quedado demostrado.

Finalmente, desde una perspectiva socioeconómica, se deben tener muy presentes tanto los impactos puramente ambientales como, sobre todo, la ya señalada especial vulnerabilidad de las islas pequeñas debido a sus limitados recursos, a su multidependencia del exterior y a la fragmentación social y económica. Las transformaciones que implicará la actuación tanto en la mitigación, a escala global, como en la necesaria adaptación, a escala local, tendrán importantes repercusiones sobre esos espacios. Como señalan Petzold y Ratter (2015), para aumentar la resiliencia de las comunidades insulares frente al cambio climático sólo serán efectivas la integración de acciones y medidas estructurales y no estructurales a escala local en las políticas de adaptación frente al calentamiento global.

6. Bibliografía

- AEMET (2015). *Olas de calor en España desde 1975*. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Agencia Española de Meteorología.
- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) (2015): *Proyecciones Climáticas para el siglo XXI en España*.
- Albert, S., León, J., Grinham, A., Church, J., Gibbes, B., & Woodfoffe, C. (2016). «Interactions between sea-level rise and wave exposure on reef island dynamics in the Solomon Islands». *Environmental Research Letters*, 11 (5).

- Alonso-Pérez, S. (2008). *Caracterización de las intrusiones de polvo africano en Canarias*. PhD Thesis at the La Laguna University (Tenerife), Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, Spain.
- Alonso-Pérez, S., Cuevas, S., Pérez, C., Querol, J.M., Baldasano, Draxler, R. & De Bustos, J.J. (2011). «Trend changes of African air mass intrusions in the marine boundary layer over the subtropical Eastern North Atlantic region in Winter». *Tellus*, 63 (2), 255-265.
- Ball, S. (2011). «Exceptional rainfall in Gibraltar during winter 2009/2010». *Weather*, 66 (1), 22–25.
- Banholzer, S., Kossin, J. & Donner, S. (2014). «The impact of Climate Change on Natural Disasters». En: Singh, A., & Zommers, Z. (Eds.) *Reducing Disaster: Early Warning Systems for Climate Change*, Springer.
- Bethencourt, J. & Dorta, P. (2010). «The storm of november 1826 in the canary islands: possibly a tropical cyclone?». *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 92, 329–337.
- Brown, D.P. (2013). *Tropical cyclone report: Hurricane Nadie, 10 september–3 october 2012*. National Hurricane Center. NOAA.
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santos, A., McPhaden, M.J., Wu, L., England, M.H., Wang, G., Guilyardi, E., & Jin, F-F. (2014). «Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming». *Nature Climate Change*, 4, 111-116.
- Cangialosi, J.P. (2010). *Tropical cyclone report: Hurricane Otto, 6-10 October 2010*. National Hurricane Center. NOAA.
- Church, J.A. & White, N.J. (2011). «Sea-Level Rise from the late 19th to the early 21st Century». *Surveys in Geophysics*, 32 (4-5), 585-602.
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., & Skuce, A. (2013). «Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature». *Environmental Research Letters*, 8.
- Cropper, T. (2013). «The weather and climate of Macaronesia: past, present and future», *Weather*, 68(11), 300–307.
- Cropper, T. & Hanna, E. (2014). «An analysis of climate of Macaronesia, 1865-2012». *International Journal of Climatology*, 34 (3), 604-622.
- De Luque, A. y Martín Esquivel, J.L. (2011). *Cualificación y homogeneización de las series climáticas mensuales de precipitación de Canarias. Estimación de Tendencias de la Precipitación. Memoria explicativa de resultados*. Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático, Gobierno de Canarias.
- Del Río, S., Herrero, L. y Penas, A. (2009). «Tendencias recientes en la precipitación de las Islas Canarias occidentales y su relación con la oscilación del Atlántico Norte (NAO)». En: Beltrán, E., Afonso, J., García, A., Rodríguez, O. (Eds.): Homenaje al Profesor Dr. Wolfredo Wildpret de la Torre, Instituto de Estudios Canarios La Laguna, (Tenerife, Islas Canarias), 705-722.
- Díaz, J., Linares, C., García-Herrera, R. (2005). «Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública: futuras actuaciones». *Revista Española de Salud Pública*, 79 (2), 145-157.
- Díaz, H., Giambelluca, T., & Eischeid, J. (2011). «Changes in the vertical profiles of mean temperature and humidity in the Hawaiian Islands». *Global and Planetary Change*, 77 (1-), 21-25.
- Domínguez-Castro, F., Trigo, R.M. & Vaquero, J.M. (2013). «The first meteorological measurements in the Iberian Peninsula: evaluating the storm of November 1724». *Climatic Change*, 118 (2), 443-455.
- Dorta, P. (1996). «Las inversiones térmicas en Canarias». *Investigaciones Geográficas*, 15, 109-124.
- Dorta, P. (2001). «Aproximación a la influencia de las advecciones de aire sahariano en la propagación de los incendios forestales en la provincia de Santa Cruz de Tenerife». *XVII Congreso de Geógrafos Españoles*, Oviedo, 158-162.
- Dorta, P., Gelado, M.D., Hernández, J.J., Cardona, P., Collado, C., Mendoza, S., Rodríguez, M.J., Siruela, V. y Torres, M.E. (2005). «Frecuencia, estacionalidad y tendencias de las advecciones de aire sahariano en Canarias (1976-2003)». *Investigaciones Geográficas*, 38, 23-45.
- Dorta, P., Marzol, M.V. & Valladares, P. (1991). «Localisation et fréquence des cellules de pression dans l'Atlantique Nord, l'Europe occidentale et le nord de l'Afrique (1983-1992) ». *Association Internationale de Climatologie*, 6, 452-466.
- Expósito, F.J., González, A., Pérez, J.C., Díaz, J.P. & Taima, D. (2015). «High-Resolution Projections of Temperature and Precipitation in the Canary Islands». *Journal of Climate*, 28, 7846-7856.

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. et al. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental
Cuadernos Geográficos 57(2), 27-52

50

- Fernández-Palacios, J.M., de Nascimento, L., Otto, R., Delgado, J., García-del-Rey, E., Arévalo, J.R., & Whittaker, R.J. (2011). «A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests». *Journal of Biogeography*, 38, 226-246.
- Fragoso, M., Trigo, R.M., Pinto, J.G., Lopes, D., 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, 715-730.
- Fraile, E., Sánchez, E., Fernández, M., Pita, M. F. y López, J.M. (2014) «Estimación del comportamiento futuro del nivel del mar en las islas canarias a partir del análisis de registros recientes», *Geographica*, 66, 79-98.
- Franklin, J.L. (2006). *Tropical cyclone report: Hurricane Vince, 8-11 October 2005*. National Hurricane Center. NOAA.
- Gallego, D., García, R., Hernández, E., Gimeno, L. & Ribera, P. (2001). «An ENSO signal in the North Atlantic subtropical area». *Geophysical Research Letters*, 28 (15), 2939-2942.
- García, R., García, O., Cuevas, E., Cachorro, V., Barreto, A., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Bustos, J., Romero-Campos, P. & de Frutos A. (2016). «Aerosol optical depth retrievals at the Izaña Atmospheric Observatory from 1941 to 2013 by using artificial neural networks». *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 53-62.
- García-Herrera, R., Gallego, P. & Hernández, E. (2001). «Influence Of The North Atlantic Oscillation On The Canary Islands Precipitation». *Journal of Climate*, 14, 3889-3903.
- 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.
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R. M., & Hernández, E. (2005). «Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions». *Annales Geophysicae*, 23, 239-251.
- Gonzalez, S. & Bech, J. (2017). «Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain». *International Journal of Climatology*, 37(15).
- Guijarro, J.A., Conde, J., Campins, J., Picornell, M.A. y Orro, M.L. (2014). «Tendencias de viento, oleaje y temperatura superficial Mediterráneo y Atlántico próximos a partir de datos de reanálisis». En: Fernández-Montes, S. y Rodrigo, F.S. (Eds.): Cambio climático y cambio Global. Asociación Española de Climatología, Serie A, 9, 315-324.
- 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 multiescalares», En: Rodríguez, C.; Ceballos, A; González, N; Morán, E y Herández, A. (Eds.): Cambio climático. Extremos e impactos. Asociación Española de Climatología, Serie A, 8, 421-430.
- Herring, S.C., Hoerling, M.P., Kossin, J.P., Peterson, T.C. & Scott, P.A. (Eds.) (2015). *Explaining extreme events of 2014 from a climate perspective*. Bulletin of American Meteorological Society, 96 (12).
- Herring, S.C., Hoell, A., Hoerling, M.P., Kossin, J.P., Schreck, C.J. & Scott, P.A. (Eds.) (2016). *Explaining extreme events of 2015 from a climate perspective*. Bulletin of American Meteorological Society, 97 (12).
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. & Jarvis, A. (2005). «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas». *International Journal of Climatology*, 25 (15), 1965-1978.
- IEPP (2013). *Impacts of Climate Change on all European island. Final Report*. Institute for European Environmental Policy (IEEP), United Kingdom and Belgium, 146.
- IPCC (2013). «Climate Change 2013: The Physical Science Basis». In: Stocker, Thomas., Quin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midley, P. (Eds.): Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 1535.
- Jansa, A., Homar, V., Romero, R., Alonso, S., Guijarro, J. & Ramis, C. (2016). «Extension of summer climatic conditions into spring in the Western Mediterranean area». *International Journal of Climatology*, 37 (4), 1938-1950.
- Jorba, O., Marrero, C., Cuevas, E. & Baldasano, J. M. (2008). «High resolution modelling results of the wind flow over Canary Islands during the meteorological situation of the extratropical storm Delta (28-30 November 2005)». *Advances in Science and Research*, Copernicus Publications, 2, 81-87.
- Knutson, T.R., McBride, J.L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J.P., Srivastava, A.K. & Sugi, M. (2010). «Tropical cyclones and climate change». *Nature Geoscience*, 3, 157-163.
- Kossin, J. P. (2008). «Is the North Atlantic hurricane season getting longer?» *Geophysical Research Letters*, 35, L23705.

- Krichak, S.O., Breitgand, J.S., Gualdi, S. & Feldstein, S. (2014). «Teleconnection–extreme precipitation relationships over the Mediterranean region». *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 3-4, 679-692.
- López, A., Dorta, P., Romero, C. y Díaz, J. (2015). «Movimientos de ladera en Canarias. El caso del Macizo de Anaga en el temporal de febrero de 2010». En: Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación. Universidad de Zaragoza AGE. 1725-1734.
- Luque, A., Martín, J., Dorta P. & Mayer, P. (2014). «Temperature Trends on Gran Canaria (Canary Islands). An Example of Global Warming over the Subtropical Northeastern Atlantic». *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(1), 20-28.
- MAPAMA (2016). Emisiones de GEI por Comunidades Autónomas a partir del Inventario Español – serie 1990-2014. Informe Ministerio de Agricultura Alimentación y Medioambiente.
- Marcos, M., Puyol, B., Calafat, F. & Woppelmann, G. (2013). «Sea level changes at Tenerife Island (NE Tropical Atlantic) since 1927». *Journal of Geophysical Research Oceans*, 118, 4899–4910.
- 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, 343-355.
- Martín, J.L., Marrero, M.V., Del Arco, M. y Garzón, V. (2015). «Aspectos clave para un plan de adaptación de la biodiversidad terrestre de Canarias al cambio climático» En: *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos, vulnerabilidad y Adaptación en España*, MAAMA, Madrid, 573-580.
- Martín, F., Alejo, C., Bustos, J., Calvo, F., Sanambrosio, J., Sánchez-Laulhé, J., Santos, D. (2005). «Estudio de la tormenta tropical Delta y su transición extratropical: efectos meteorológicos en Canarias». *Agencia Estatal de Meteorología*.
- Marzol, M.V. y Máyer, P. (2012). «Algunas reflexiones acerca del clima de las Islas Canarias». *Nimbus* 29-30, 399-416.
- Marzol, M.V., Yanes, A., Romero, C., Brito de Acebedo, E., Prada, S. y Martins, A. (2006) «Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde)». En: Cuadrats et al (Eds.). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, AEC, Zaragoza, 443-452.
- Máyer, P.; Marzol, M.V. y Parreño, J.M. (2015). «Tendencias de la precipitación en Canarias», En: M^a. C. Cabrera, T. Cruz-Fuentes, V. Mendoza-Grimón y M^a 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. y Marzol, M. V. (2014). «Análisis de las temperaturas extremas en las islas canarias y su relación con los avisos de alertas meteorológicas». En: Fernández-Montes, S. y Rodrigo, F.S. (Eds.) *Cambio climático y cambio Global*. Asociación Española de Climatología, Serie A, 9, 391-400.
- 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.
- 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.
- Menéndez, I., Derbyshire, E., Engelbrecht, J.P., von Suchodoletz, H., Zöller, L., Dorta, P., Carrillo, T., Rodríguez de Castro, F. (2009). «Saharan dust and the aerosols on the Canary islands: Past and present.» En: Cheng, Ming; Liu, Wen (Eds.): *Airborne particulates*. New York: Nova Science Publishers, 39-80.
- Moulin, C., Lamber, C. W., Dulac, F. and Dayan, U. (1997). «Control of atmospheric exports of dust from North Africa by the North Atlantic oscillation». *Nature*, 387, 691-694.
- Morata, A. (2014). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4*. AEMET, Madrid.
- Petzold, J. & Ratter, B.M.W. (2015). «Climate change adaptation under a social capital approach. An analytical framework for small islands». *Ocean & Coastal Management*, 112, 36-43.
- Ratter, B.M.W. & Petzold, J. (2012). «From Ecological Footprint To Ecological Fingerprint. Sustainable development on Helgoland From one island to another. A Celebration of Island Connections», En: Topsø Larsen K (Eds.): *Centre For Regional And Tourism Research*, 191-203.
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., Serrano, E. & Castro, M. (2006). «Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the european and northern african winter climate». *International Journal of Climatology*, 26(2), 179-191.

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

DORTA, P. et al. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroccidental. *Cuadernos Geográficos* 57(2), 27-52

52

- Salat, J., Lavín, A., González-Pola, J., Vélez-Belchi, P., Sánchez, R., Vargas-Yáñez, M., García Lafuente, J., Marcos, M. & Gomis, D. (2017). «Oceanic variability and sea level changes around the Iberian Peninsula, Balearic and Canary Islands». *CLIVAR Exchanges*, 73, 32-38.
- Sánchez-Benítez, A., García-Herrera, R. & Vicente-Serrano, S. (2016). «Revisiting precipitation variability, trends and drivers in the Canary Islands». *International Journal of Climatology*.
- Sanroma, E., Palle, E. & Sánchez-Lorenzo, A. (2010). «Long-term changes in insolation and temperatures at different altitudes». *Environmental Research Letters*, 5.
- Semedo, A., Soares, P.M., Lima, D.C., Cardoso, R.M., Bernardino, M. & Miranda, P.M. (2016). «The impact of climate change on the global coastal low-level wind jets: EC-EARTH simulations». *Global and Planetary Change*, 137, 88-106.
- 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.
- 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
- Trenberth, K.E. (2011). «Changes in precipitation with climate change», *Climate Research*, vol. 47, 123-138.
- Vaquero, J. M., García-Herrera, R., Wheeler, D., Chenoweth, M., & Mock, C. J. (2008). «A historical analog of 2005 hurricane Vince». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(2), 191-201.
- Vicente-Serrano, S., Azorín Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., El Kenawy, A., Martín-Hernández, N., Peña-Gallardo, M., Beguería, S. & Tomas-Burguera, M. (2016). «Recent changes and drivers of the atmospheric evaporative demand in the Canary Islands». *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 3393-3410.

Sobre los autores

PEDRO DORTA ANTEQUERA

Doctor en Geografía por la Universidad de La Laguna (ULL) con premio extraordinario de doctorado. Profesor Titular de Geografía Física. Previamente impartió docencia como profesor asociado a tiempo completo (1990-1992) y en clases de master (2008-2011) en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Ha centrado sus investigaciones en recursos hídricos, riesgos climáticos, advecciones de aire del Sáhara y transporte de polvo sahariano y Climatología Histórica, con la publicación de medio centenar de trabajos entre artículos, comunicaciones a congresos y libros. Ha participado en varios Proyectos de Investigación nacionales e internacionales y ha sido asesor en varios convenios con instituciones públicas y empresas privadas en materia de Climatología, Riesgos y Emergencias. Ha sido secretario del Centro de Estudios Ecosociales de la ULL, del grupo de Climatología de la Asociación de Geógrafos Españoles (AGE) y de la Asociación Española de Climatología (2012-2016) así como Director del Departamento de Geografía de la ULL (2011-2015). En la actualidad es Director de la Cátedra de Reducción de Riesgos de Desastres. Ciudades Resilientes de la ULL.

ABEL LÓPEZ DÍEZ

Titulado en el Máster de Planificación y Gestión de Riesgos Naturales por la Universidad de Alicante y Licenciado en Geografía por la Universidad de La Laguna (ULL), obteniendo en ambos premio extraordinario. Miembro del grupo de investigación GeoRiesgos y de la cátedra «Reducción del Riesgo de Desastres. Ciudades Resilientes» de la ULL. Actualmente es becario de Formación de Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación y Ciencia, adscrito al Departamento de Geografía e Historia de la ULL. Realiza sus estudios de doctorado vinculados al análisis de los procesos de adaptación frente al Cambio Climático en espacios insulares. Sus intereses de investigación se han centrado en el ámbito de la Climatología y la Geomorfología.

JAIME DÍAZ PACHECO

Doctor en Geografía por la Universidad Complutense de Madrid, es experto en Sistemas de Información Geográfica, especializándose en el desarrollo de modelos de cambios de usos de suelo basados en sistemas complejos. Alrededor de este campo de estudio acumula la mayoría de sus publicaciones y participación en congresos científicos. Desde 2014 es miembro del grupo de investigación «GeoRiesgos» de la Universidad de La Laguna y coordinador de la Unidad de Investigación de la Cátedra Científica Cultural y Tecnológica «Reducción del Riesgo de Desastres. Ciudades Resilientes», donde colabora activamente en el desarrollo de líneas de investigación dentro del campo de la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático. Dentro de esta área ha participado en el desarrollo de planes territoriales de emergencias y trabaja en el desarrollo de metodologías para la evaluación local de riesgos integrada y participativa.



II.1.2. Precipitaciones estivales en Canarias



Autores/as: **Abel López Díez**, Pedro Dorta Antequera, Jaime Díaz Pacheco, José Ángel Rodríguez Báez

DOI: <https://doi.org/10.15366/ntc.2017>

CITA: López Díez, A.; Dorta Antequera, P.; Díaz Pacheco, J.; Rodríguez Báez, J. Precipitaciones estivales en Canarias. En Allende, F; Cañada, R; Fernández-Mayoralas, G; Gómez, G; López, N; Palacios, A; Rojo, F. Y Vidal M.J. (eds.) (2017) Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global. Actas. XXV Congreso de la Asociación Española de Geografía, Madrid, Dpto. Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid y Ediciones UAM. pp 2736.

ISBN: 978-84-8344-612-6

Código QR para acceso:





A. López Díez, P. Dorta Antequera, J. Díaz Pacheco, J.A. Rodríguez Báez
Departamento de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna
Cátedra Universitaria "La Reducción del Riesgo de Desastre. Ciudades Resilientes"

1. Introducción

El clima de Canarias presenta un régimen pluviométrico mediterráneo caracterizado por una concentración de la lluvia en los meses fríos y una acusada sequía estival. No obstante, en los últimos años se han producido una serie de eventos de lluvia, durante el verano, muy relevantes que podrían ser un indicio de un cambio en la distribución de la precipitación en las Islas Canarias.

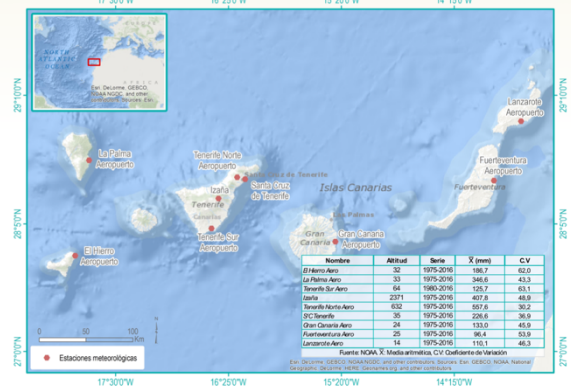
Objetivos

- Caracterizar los rasgos generales de la precipitación estival en las Islas Canarias.
- Evaluar las tendencias de los totales pluviométricos para los meses de verano.
- Analizar algún evento de rango extraordinario acontecido en los últimos años.

Metodología

Se han seleccionado un total de 9 estaciones, extraídas de la NOAA, que presentan gran continuidad temporal y una elevada completitud, en un rango de fechas comprendido entre 1975 y 2016 (Excepto Tenerife Sur Aero 1980-2016), para el verano (junio-agosto). Para el análisis de tendencia lineal de los principales rasgos de la precipitación estival se han empleado los métodos de **regresión lineal** y el test no paramétrico de **Mann-Kendall** (Kendall, 1975; Mann, 1945).

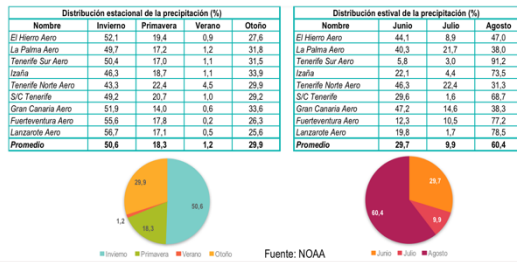
Localización y rasgos generales de las series de precipitación analizadas



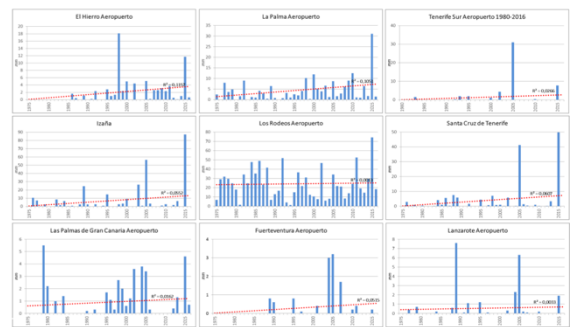
2. Resultados

Características del régimen estival de precipitaciones

Las precipitaciones estivales representan el 1,2% del total anual, siendo agosto el mes más lluvioso con un 60,4% del volumen total.



Evolución de la precipitación en los meses estivales (1975-2016)



Evolución del número de días con pp > 0.1mm en los meses estivales (1975-2016)



Tendencia estival de las precipitaciones

Test de Mann-Kendall para el análisis de las tendencias de precipitación estival (1975-2016)

Nombre	Serie	n	Tau de Kendall	S	Var(S)	valor-p (bilateral)	alfa	Pendiente de Sen
El Hierro Aero	1975-2016	42	0,449	350,000	7813,333	< 0,0001	0,05	0,032
La Palma Aero	1975-2016	42	0,201	172,000	8500,667	0,084	0,05	0,057
Tenerife Sur	1980-2016	36	0,089	39,000	3283,000	0,507	0,05	0
Islaia	1975-2016	42	0,001	1,000	8102,000	1,000	0,05	0
Tenerife Norte	1975-2016	42	-0,021	-18,000	8512,333	0,854	0,05	-0,038
S/C Tenerife	1975-2016	42	0,036	29,000	8167,667	0,757	0,05	0
GC Aero	1975-2016	42	0,177	132,000	7414,000	0,128	0,05	0
Fuerteventura Aero	1975-2016	42	0,239	139,000	5049,667	0,052	0,05	0
Lanzarote Aero	1975-2016	42	0,038	26,000	6448,667	0,756	0,05	0

Presentan tendencia con una significancia del 95% (El Hierro Aero y La Palma Aero). Con una significancia del 90% empleada por autores como Cortesi (2012) presentarían tendencia estas estaciones y Fuerteventura Aero.

Test de Mann-Kendall para el análisis de evolución del número de días de precipitación estival (1975-2016)

Nombre	Serie	n	Tau de Kendall	S	Var(S)	valor-p (bilateral)	alfa	Pendiente de Sen
El Hierro Aero	1975-2016	42	0,513	384,000	7703,333	< 0,0001	0,05	0,069
La Palma Aero	1975-2016	42	0,584	286,000	8303,333	0,002	0,05	0,091
Tenerife Sur	1980-2016	36	0,104	45,000	3271,667	0,442	0,05	0
Islaia	1975-2016	42	-0,008	-6,000	7820,667	0,956	0,05	0
Tenerife Norte	1975-2016	42	0,011	146,000	8463,333	0,115	0,05	0,1
S/C Tenerife	1975-2016	42	0,016	12,000	8014,000	0,902	0,05	0
GC Aero	1975-2016	42	0,202	145,000	7314,333	0,092	0,05	0
Fuerteventura Aero	1975-2016	42	0,055	35,000	6242,333	0,667	0,05	0
Lanzarote Aero	1975-2016	42	0,055	35,000	6242,333	0,667	0,05	0

Presentan tendencia con una significancia del 95% (El Hierro Aero y La Palma Aero). Con una significancia del 90% empleada por autores como Cortesi (2012) presentarían tendencia estas estaciones y Gran Canaria Aero.

Síntesis del análisis mediante regresión lineal

Nombre	El Hierro Aero	La Palma Aero	Tenerife Sur Aero	Islaia	Tenerife Norte Aero	S/C Tenerife	Gran Canaria Aero	Fuerteventura Aero	Lanzarote Aero	Promedio
Nº días pp>0.1 mm	0,3631	0,2258	0,0463	0,0054	0,0789	0,0012	0,0463	0,1292	0,0189	0,1923
Total mm	0,1167	0,4961	0,0266	0,0052	0,0013	0,0607	0,0162	0,0919	0,0033	0,1444

3. El temporal del 13 de agosto de 2015

Origen: DANA situada al Noroeste de las islas y Depresión Sudano-Sahariana al sureste del archipiélago, propiciando esta última la llegada de aire húmedo con características tropicales, acompañado de procesos de gran convectividad.

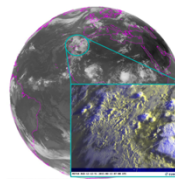


Precipitación registrada el 13 agosto de 2015

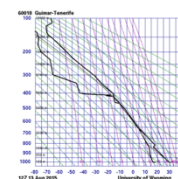
Nombre	Total MM
El Hierro Aero	0,1
La Palma Aero	1,9
Tenerife Sur Aero	1,5
Islaia	59,2
Tenerife Norte Aero	34,0
S/C Tenerife	33,6
Gran Canaria Aero	0,8
Fuerteventura Aero	0
Lanzarote Aero	0,2

Fuente: NOAA

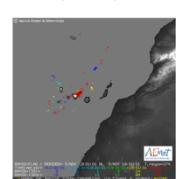
Imagen Vapor de Agua



Sondeo termodinámico



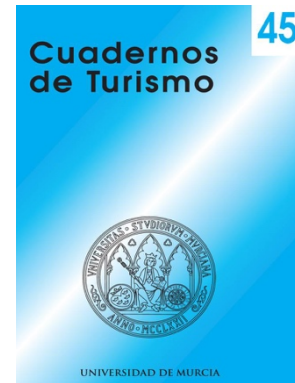
Mapa de rayos



4. Conclusiones

- Existe un incremento tanto en los totales de precipitación como en el número de días de precipitación, siendo este último más acusado.
- Las precipitaciones estivales se concentran en su mayoría en el mes de agosto.
- El Test de Mann-Kendall indica tendencia significativa en dos de las 9 estaciones analizadas con una significancia del 95%.
- El temporal del 13 de agosto 2015 constituye el evento registrado de mayor torrencialidad para los meses de verano.

II.1.3. Turismo y amenazas de origen natural en la Macaronesia. Análisis Comparado



Autores/as: Pedro Dorta Antequera, **Abel López Díez**, Jaime Díaz Pacheco, Pablo Máyer Suárez y Carmen Romero Ruiz

DOI: <https://doi.org/10.6018/turismo.45.426041>

CITA: Dorta Antequera, P.; López Díez, A.; Díaz Pacheco, J.; Máyer Suárez, P.; Romero Ruiz, C. Turismo y amenazas de origen natural en la Macaronesia. Análisis comparado. Cuadernos de Turismo 2020, 45, 61-92.

Factor de impacto (2018):

SJR: 0,162 Q3

SCOPUS: 0,44

ISSN: 11397861

Código QR para acceso:



TURISMO Y AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL EN LA MACARONESIA. ANÁLISIS COMPARADO

*Pedro Dorta Antequera**

Universidad de La Laguna
<https://orcid.org/0000-0003-2112-4566>

*Abel López Díez**

Universidad de La Laguna
<https://orcid.org/0000-0003-3788-7402>

*Jaime Díaz Pacheco**

Universidad de La Laguna
<https://orcid.org/0000-0001-7448-5870>

*Pablo Máyer Suárez***

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
<https://orcid.org/0000-0002-7629-1129>

*Carmen Romero Ruiz**

Universidad de La Laguna
<https://orcid.org/0000-0002-4452-8179>

RESUMEN

Los archipiélagos de la Macaronesia poseen rasgos físicos similares. Son islas con una gran dependencia exterior y con un destacado peso del sector turístico en sus PIBs. Su origen volcánico y sus características climáticas implican variadas amenazas de origen natural. Se determinan aquellas que puedan afectar a la actividad turística, identificándose comparativamente fenómenos geológicos, geomorfológicos y meteorológicos. Se muestran las diferencias entre los archipiélagos con Canarias como espacio altamente explotado y Azores con los eventos de desastre más destacados.

Palabras clave: Macaronesia; isla; amenaza; desastre; turismo.

Fecha de recepción: 22 de noviembre de 2018.

Fecha de aceptación: 6 de mayo de 2019.

* Departamento de Geografía e Historia. Cátedra Universitaria Reducción del Riesgo de Desastres y Ciudades Resilientes. Universidad de La Laguna. Campus de Guajara s/n. 38200 San Cristóbal de La Laguna. SANTA CRUZ DE TENERIFE(España). E-mail: pdorta@ull.edu.es, alopezd@ull.edu.es, jdiazpac@ull.edu.es, mcromero@ull.edu.es

** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Departamento de Geografía. C/ Pérez del Toro, nº1. 35003LAS PALMAS DE GRAN CANARIA (España). E-mail: pablo.mayer@ulpgc.es

Tourism and Natural Hazards in Macaronesia. Comparative Analysis

ABSTRACT

The archipelagos of Macaronesia have similar physical features. They are islands with a large external dependence and an important weight of the tourism sector in their GDPs. Its volcanic origin and climatic features suppose several natural hazards. We identified those that can affect the tourist activity, identifying comparatively geological, geomorphological and meteorological phenomena. We show the differences between the archipelagos with the Canary Islands as a highly exploited space and the Azores with the most outstanding disaster events.

Keywords: Macaronesia; island; hazard; disaster; tourism.

1. INTRODUCCIÓN

El turismo supone, hoy en día, una de las principales actividades económicas a escala mundial, con un movimiento anual de más de 1.200 millones de personas (UNWTO, 2017). Sin embargo, la distribución de los flujos turísticos es muy irregular: el principal destino es el Mediterráneo, sobre todo la costa norte, pero también el Caribe y Golfo de Méjico o el Sur y el Este asiático (UNWTO, 2017). Otros territorios quedan al margen total o parcialmente, bien por conflictos sociales, políticos y bélicos, bien por cuestiones climáticas que pueden limitar un adecuado disfrute de actividades al aire libre para el turista occidental modelo que frecuenta el litoral.

En este contexto, las islas localizadas en latitudes tropicales, subtropicales y ámbitos mediterráneos se convierten en destinos especialmente relevantes. Canarias, Madeira, Azores y Cabo Verde, representan un magnífico ejemplo de espacios insulares altamente explotados desde una perspectiva turística. Su posición, de relativa cercanía con respecto a algunos de los principales países emisores de turistas del mundo, supone una ventaja crucial en esta actividad. Sin embargo, la propia presión de los flujos turísticos masivos sobre el territorio aumenta la exposición frente a los peligros naturales, incrementando así los riesgos para los turistas. Además, algunos de esos peligros podrían aumentar, en un futuro próximo, como consecuencia del cambio climático, afectando de forma determinante al turismo (Olcina y Rebollo, 2016).

El presente trabajo analiza las características del sector turístico, los rasgos físicos generales en los archipiélagos macaronésicos y los peligros de origen natural a los que se encuentran expuestos.

Para ello se exponen, en una primera parte, los condicionantes en la actividad turística, la evolución, la estacionalidad y la distribución geográfica de los emplazamientos turísticos y sus principales atractivos; y, en una segunda parte, cuáles son las amenazas de origen natural a las que deben enfrentarse los planificadores y gestores del territorio y las emergencias en los archipiélagos macaronésicos, todo lo cual permitirá hacer un análisis comparado de los cuatro archipiélagos.

2. FUENTES, OBJETIVO Y MÉTODO

Para llevar a cabo el presente trabajo se ha recurrido, por un lado, a la información de los datos de turismo de los organismos y portales oficiales; por otro, a los de estadística de los cuatro archipiélagos, de España y Portugal. Son el Instituto Canario de Estadística (ISTAC), el Instituto Nacional de Estadística de España (INE), el Servicio de Estadísticas de Azores (SREA), la Dirección Regional de Estadística de Madeira (DREM), el Instituto Nacional de Estadística de Cabo Verde (INECV), el Instituto Nacional de Estadística de Portugal (INEP) y la base de datos del Banco Mundial (IBRD). Con el empleo de esas fuentes se han tratado los datos de visitantes, su estacionalidad y sus tendencias, así como la distribución entre los archipiélagos y entre las islas.

Por lo que respecta a las amenazas, la información se ha extraído de las instituciones competentes de cada archipiélago. Para las cuestiones referentes al clima, se ha recurrido a la Agencia Estatal de Meteorología española (AEMET), al Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) y a las bases de datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EEUU (NOAA)¹. Para las amenazas geológicas y geomorfológicas, la información seleccionada ha procedido del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN) y del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Por último, la bibliografía especializada ha conformado también, como complemento esencial a los datos de los organismos oficiales, una importante fuente de información que se ha analizado exhaustivamente para conseguir sistematizar los movimientos turísticos y, sobre todo, los eventos de desastre y los peligros de origen natural de toda la Macaronesia.

Con toda la información, se ha hecho un análisis por archipiélago, así como un estudio que ponga de manifiesto las similitudes y las diferencias entre archipiélagos y entre islas. En este sentido, el principal objetivo del artículo es el análisis comparado de la actividad turística en los cuatro archipiélagos de la Macaronesia y el estudio de las principales amenazas de origen natural a los que se encuentran expuestos. A pesar de la importancia que tienen los impactos de los desastres en el desarrollo turístico y en la competitividad de un destino turístico, son pocos los trabajos que aúnan las dos cuestiones (Machado, 2011), por lo que este artículo pretende contribuir a su conocimiento.

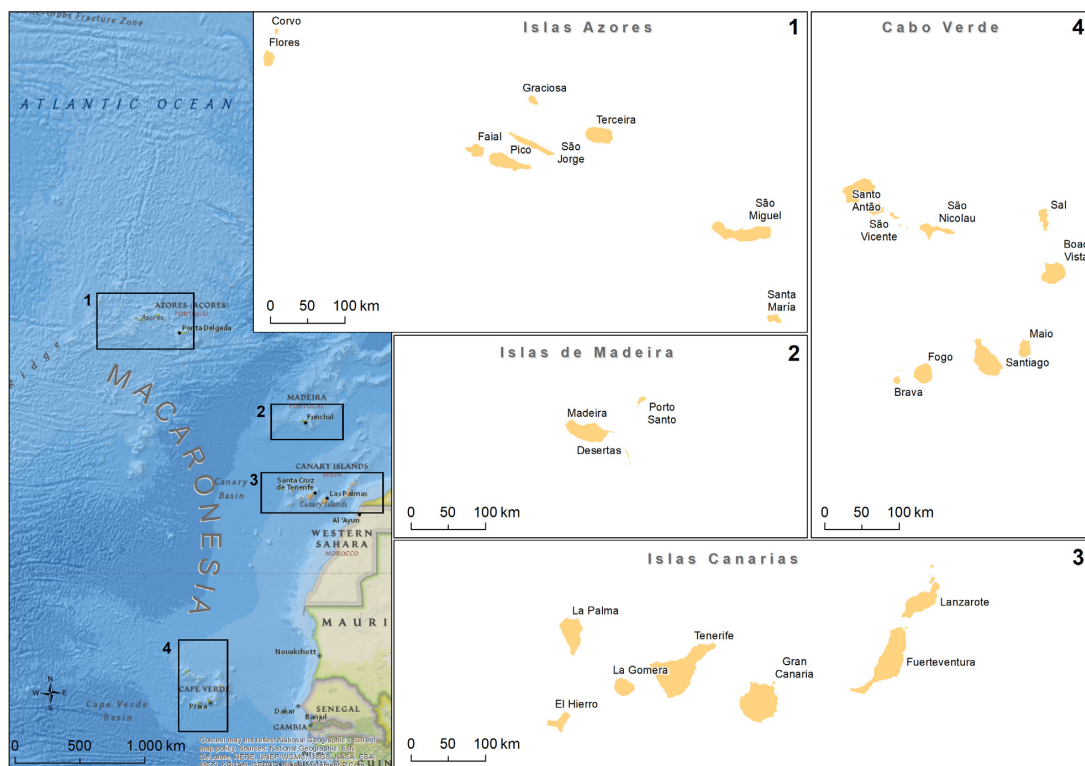
En cuanto a la metodología, se ha llevado a cabo un profundo análisis de los datos publicados y de los valores extremos de las bases de datos oficiales ya señaladas. Primero, se han analizado los datos de flujos turísticos y después, las amenazas a las que se encuentran expuestos los archipiélagos. Estas se estudian teniendo en cuenta los eventos más graves acontecidos y que aparecen registrados en la bibliografía o en las bases de datos de las fuentes consultadas. Hay que destacar que, una gran parte de los desastres de mayor trascendencia, han ocurrido en época preinstrumental por lo que no existen registros numéricos. No se ha elaborado, por tanto, un análisis estrictamente estadístico. Se han establecido los eventos máximos a considerar en cada archipiélago y, en función de ello, las principales amenazas de origen natural que puedan tener repercusiones sobre la principal actividad económica, el turismo.

¹ Aunque el Instituto Nacional de Meteorología e Geofísica de Cabo Verde es el organismo oficial del país, los datos aportados son muy escasos por lo que se ha recurrido a fuentes bibliográficas y alternativas como la NOAA y el USGS de Estados Unidos.

3. CONTEXTO GENERAL DEL TURISMO EN LA MACARONESIA

Las condiciones naturales, en especial el clima, constituyen una parte fundamental del potencial turístico, sobre todo para determinadas actividades o tipos de recreación (Besancenot, 1991; Gómez, 1999). Los archipiélagos de la Macaronesia poseen, en general, importantes atributos que los hacen muy atractivos en ese sentido. Además, destacan valores ambientales como la gran biodiversidad y su riqueza en endemismos, el atractivo de los territorios volcánicos o los paisajes de alto valor estético propio de las regiones montañosas. No obstante, como se ha señalado, es el clima de estos lugares y, especialmente, el contraste climático con respecto a los países emisores, el principal valor de atracción de la mayor parte de los turistas que visitan estos archipiélagos, como ponen de manifiesto las encuestas a los visitantes elaboradas por las principales instituciones locales en esta materia. Asimismo, para el éxito turístico, son determinantes la estabilidad política y la seguridad, en un sentido amplio, en todos los territorios analizados.

Figura 1
LOCALIZACIÓN DE LOS ARCHIPIÉLAGOS DE LA MACARONESIA



Fuente: Elaboración propia.

3.1. Condicionantes físicos

Los cuatro archipiélagos, con más de 40 islas e islotes (Figura 1), son sistemas insulares tropicales o subtropicales de origen volcánico con paisajes de gran valor geomorfológico y biogeográfico. La rica biodiversidad es resultado de la complejidad topográfica y de unos rasgos climáticos, en cierta medida, similares, aunque las islas más septentrionales (Azores) son más frías y lluviosas y las más meridionales (Cabo Verde) más cálidas y secas. Todas poseen rasgos térmicos muy suaves debido a la gran influencia oceánica. Bien es cierto que el archipiélago de Cabo Verde muestra características climáticas sensiblemente distintas al resto de la Macaronesia, no sólo en temperaturas sino también por un régimen pluviométrico típicamente tropical con un máximo estivo-otoñal, frente al resto de los territorios (Azores, Madeira, y Canarias), con un máximo invernal análogo al de las regiones mediterráneas. En todos los casos, el relieve determina el reparto espacial de las precipitaciones: las islas más llanas son considerablemente más secas (Lanzarote, Porto Santo, Sal, etc.) que las de altitudes importantes (Madeira, La Palma, Tenerife, Pico, etc.).

Los paisajes obedecen, además, a una evolución geomorfológica determinada por un activo volcanismo, incluso con erupciones en época reciente y, sobre todo en Azores, resulta muy significativo, por su contexto geológico, el peligro sísmico.

3.2. Condicionantes sociales

Portugal y España son países con rentas per cápita relativamente elevadas, entre 20.000 y 26.000 dólares anuales (2016). Cabo Verde, sin embargo, es una nación mucho menos desarrollada (3.000 dólares) (IBRD, 2017). No obstante, los tres países poseen una situación política y social estable que favorece el desarrollo del turismo.

En Madeira, Canarias y Cabo Verde es evidente el predominio del turismo de sol y playa y casi la totalidad de los alojamientos se sitúan en el litoral. En Azores, precisamente por sus condiciones climáticas de mayor pluviometría y temperaturas más bajas, la actividad turística no está tan dirigida al típico turismo costero de procedencia extranjera. La distinta evolución socioeconómica y las diferencias físicas entre los archipiélagos han determinado diferencias en el desarrollo de esta actividad. Canarias y Madeira son territorios intensamente explotados y de larga tradición, mientras que Azores y Cabo Verde muestran un desarrollo turístico más reciente y, por consiguiente, menos extensivo aún sobre el espacio geográfico.

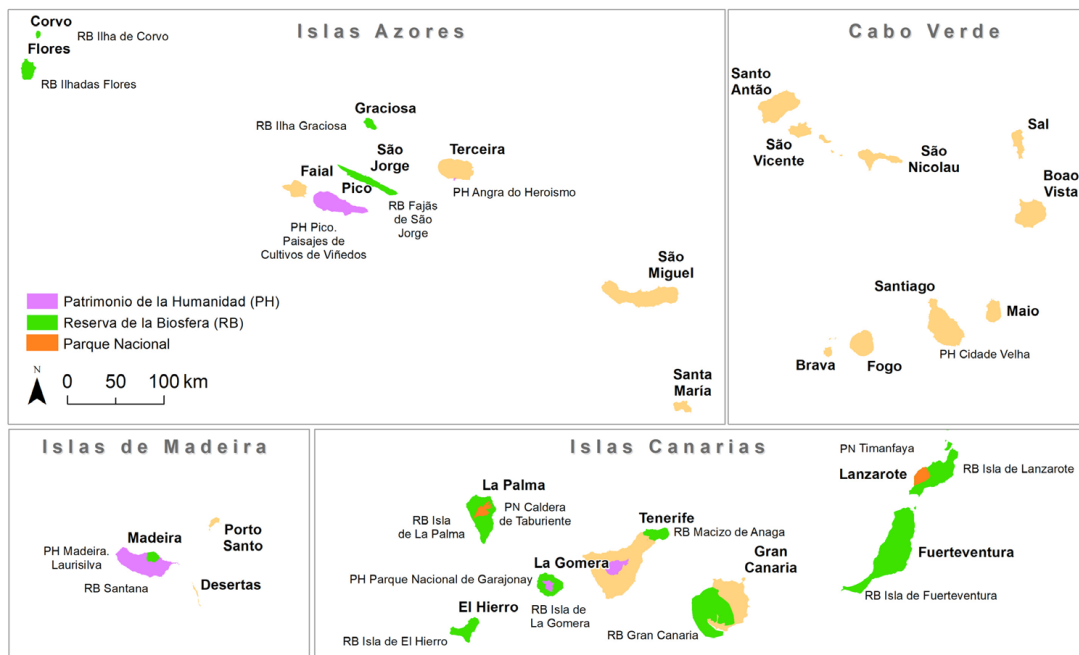
3.3. Los principales atractivos turísticos

Todas las islas muestran importantes atractivos, sobre todo naturales, pero también culturales o artísticos. Destacan los espacios protegidos, especialmente con las figuras de parque nacional y reservas de la biosfera y también patrimonios de la humanidad de la Unesco, llegando a un total de 21 lugares con estas categorías de reconocimiento internacional (Figura 2). Algunos de estos espacios sufren una enorme presión de visitantes, fundamentalmente los Parques Nacionales de las islas más turísticas como El Teide (18.990 ha. y 4 millones de visitantes) en Tenerife y Timanfaya (5.107 ha. y 1,7 millones

de visitantes) en Lanzarote, respectivamente el primer y el cuarto Parque Nacional más visitado de los 16 que existen en nuestro país (MAPAMA, 2017).

Además de estos espacios catalogados, numerosos puntos de algunas de las islas presentan una alta concentración de visitantes por sus atractivos paisajísticos, estéticos, comerciales o de ocio. Los condicionantes físicos y los principales atractivos señalados son, fundamentalmente, los que ordenan la concentración de los flujos turísticos haciendo que existan diferencias considerables entre las islas de cada archipiélago. Entre las más visitadas se encuentran las cuatro más orientales de Canarias (Tenerife, Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura), las dos más orientales de Cabo Verde (Boa Vista y Sal), Madeira, y Sao Miguel y Terceira en Azores.

Figura 2
ESPACIOS DE RECONOCIMIENTO UNESCO (RESERVAS DE LA BIOSFERA Y PATRIMONIOS DE LA HUMANIDAD) Y PARQUES NACIONALES



Fuente: Unesco y MAPAMA. Elaboración propia.

4. EL TURISMO. PRINCIPALES DATOS

Las estadísticas de turismo en los archipiélagos analizados indican, esencialmente, dos rasgos notables. En primer lugar, el gran peso del sector en la economía. En segundo lugar, la importante diferencia entre los archipiélagos en multitud de cuestiones, tales como, el desarrollo histórico, el volumen total de visitantes, su nacionalidad o la estacionalidad.

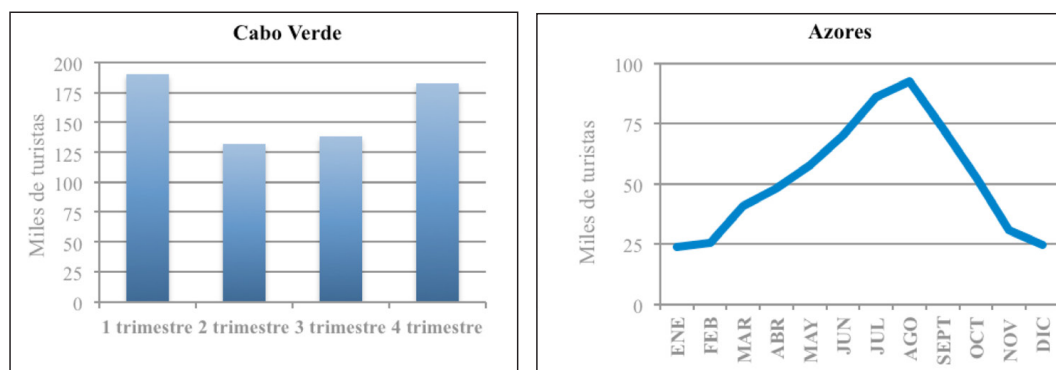
4.1. Cabo Verde

El desarrollo del sector turístico en Cabo Verde es reciente. Comienza siendo incipiente en los años 80 del siglo XX pero no es hasta los 90 cuando el capital invertido comienza a ser relevante. Así, en 2000 ya visitaban el archipiélago casi 150.000 turistas y cerca de 350.000 en 2008 (Guillermo y Camacho, 2015). Entre 2008 y 2016 se ha duplicado el número de entradas, llegando, en este último año, a superar los 644.000 turistas (INECV, 2017). El sector supone un 20% del PIB (2008) (Guillermo y Camacho, 2015).

Entre las islas, la que registra más llegadas es Sal, con casi la mitad del total y rozando las 300.000 visitantes en 2016, seguida de Boa Vista con algo más de 200.000. Entre ambas reciben más del 80% de todos los turistas que acuden a Cabo Verde y concentran más del 75% de las camas ofertadas (INECV, 2017). En contraste, Brava, Maio y Sao Nicolau apenas rozan los 1.500 visitantes anuales (Figura 3). Los turistas británicos son los más numerosos –uno de cada tres–, cuestión que ha cambiado en los últimos tiempos puesto que, a principios del Siglo XXI, eran los italianos y portugueses.

Por otro lado, las llegadas a Cabo Verde muestran una estacionalidad notable, siendo el invierno la época de mayor afluencia, coincidiendo con las temperaturas más suaves y la estación seca.

Figura 3
DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE TURISTAS EN CABO VERDE Y AZORES (2016)



Fuente: INECV², SREA. Elaboración propia.

4.2. Azores

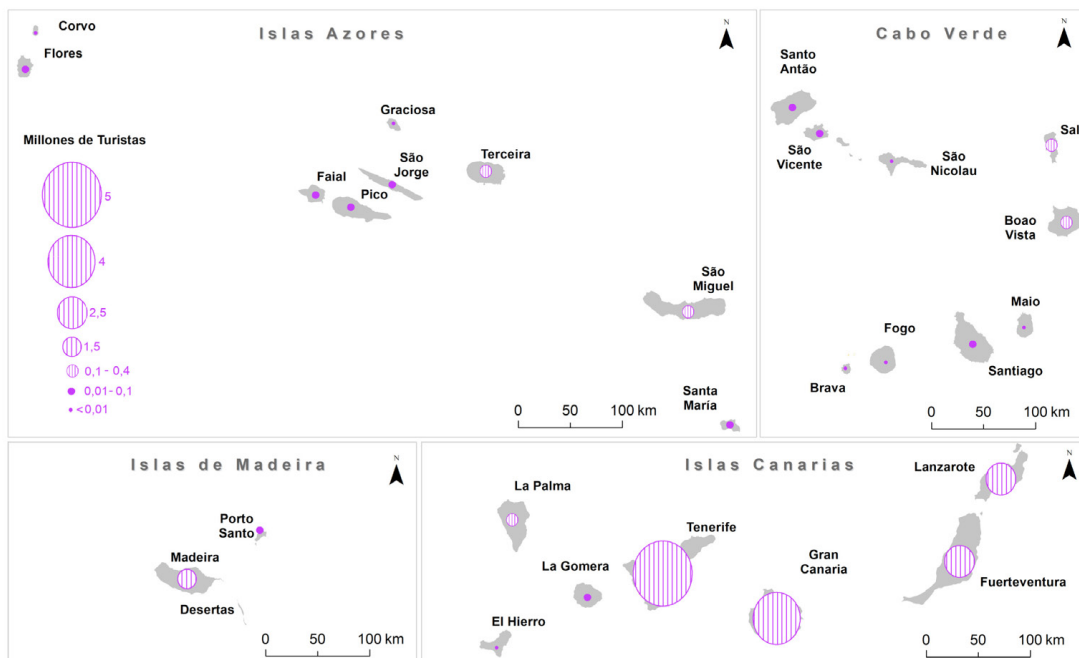
El sector turístico en Azores también tiene un desarrollo reciente y, de hecho, el número de visitantes es reducido, similar a Cabo Verde. En 2000 visitaron las islas alrededor de 233.000 turistas, creciendo hasta los 625.000 en 2016 (SREA, 2018)³. Por islas la concentración es aún mayor que en Cabo Verde, de manera que Sao Miguel concentra

² El INE sólo facilita los datos por trimestre y no mensualmente.

³ Existen diferencias sustanciales entre las estadísticas del Gobierno de Azores, 625.000 turistas y de Portugal, 528.000.

casi el 60% de las visitas y sólo Terceira, además de la citada, registra un porcentaje superior al 10%. Esas dos islas junto con Faial rozan el 90% de todos los turistas que llegan a Azores (Figura 4).

Figura 4
DISTRIBUCIÓN POR ISLAS DEL NÚMERO DE TURISTAS EN LOS ARCHIPIÉLAGOS DE LA MACARONESIA (2016)



Fuente: ISTAC, DREM, SREA, INE. Elaboración propia.

Los turistas nacionales –portugueses- son, con notable diferencia, el principal mercado, más del 50%, siendo una singularidad relevante en comparación con los otros tres archipiélagos. En Azores, el turismo alemán es, entre los visitantes internacionales, el que posee mayor peso con algo más de un 11% (SREA, 2018). Existe una clara estacionalidad -la mayor de todos los archipiélagos- con un pico muy nítido en verano y una notable estación baja en invierno. Las condiciones climáticas y la preponderancia de visitantes nacionales determinan, en gran medida, esta marcada estacionalidad (Figura 3), por otro lado, muy similar a cualquier destino típicamente mediterráneo.

4.3. Madeira

Madeira es uno de los destinos más antiguos del mundo (Machado, 2011; Martins de Almeida, 2016). Su comienzo, como actividad económica destacada, es bastante anterior a Cabo Verde y Azores. Esa evolución, junto con los condicionantes climáticos y socio-

políticos, ha determinado que en la actualidad posea un mayor desarrollo turístico a pesar de que sus dimensiones sean notablemente más reducidas. No obstante, no es hasta 1963, momento en el que se construye el aeropuerto de la isla, cuando este sector económico despegó de forma definitiva (Machado, 2011).

Madeira registra más del doble de turistas que los dos anteriores archipiélagos con una clara evolución alcista. En el año 2000 llegaron algo más de 740.000, en 2008 casi 1,2 millones (SRTT, 2018) y en 2016 el archipiélago recibió entorno a 1,5 millones (INEP, 2018). Sólo la reciente crisis económica, entre 2009 y 2014, mantuvo relativamente estancado el número de visitantes, pero desde 2015 los datos registran una importante recuperación con un 13% de incremento entre 2015 y 2016.

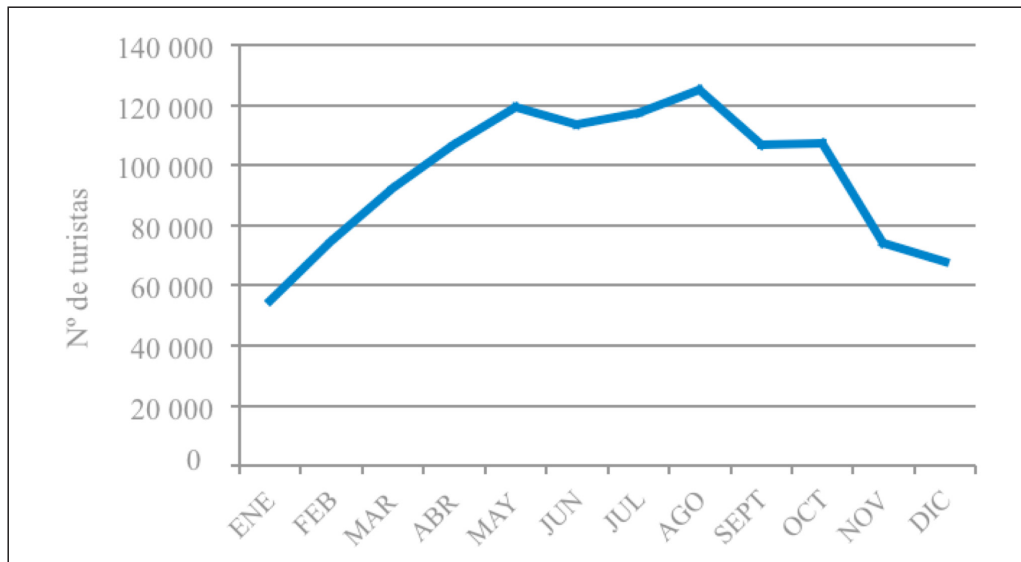
Dentro del archipiélago, la mayoría de las camas turísticas se localizan en la isla mayor, Madeira (Figura 4) y, sobre todo, en el municipio de Funchal, con más del 64% del total (SRTT, 2018). La isla de Porto Santo también posee un sector turístico de cierta entidad si se considera la superficie de la misma, algo más de 42 km², con 95.894 turistas en 2016. Al contrario que en Madeira, una parte sustancial de esos visitantes eran portugueses, alcanzando prácticamente la mitad del total (DREM, 2018). La procedencia del turismo en el conjunto del archipiélago es netamente extranjera, en contraposición a Azores, suponiendo el mercado nacional tan sólo un 11%. Casi el 60% de los visitantes son alemanes o ingleses; alrededor de 300.000 entradas de cada nacionalidad.

Inicialmente, la temporada turística se centraba entre noviembre y marzo (Martins de Almeida, 2016), sin embargo, en las últimas décadas hay un cambio manifiesto ya que los visitantes se concentran en los meses cálidos, aunque la extensión de la temporada alta es más larga que en Azores (SRTT, 2018) (Figura 5). La explicación de este hecho reside en que los turistas británicos y alemanes, se distribuyen a lo largo del todo el año, mientras que los visitantes nacionales, los españoles y los franceses son los que determinan el pico de turistas en verano en el balance general. Finalmente, hay que indicar que el turismo supone en Madeira un 21% del PIB y el 15% del empleo (Martins de Almeida, 2016).

Por último, los cruceros también representan un importante aporte de visitantes, con 519.700 cruceristas en 2016 (DREM, 2017), mostrando un máximo en noviembre y un mínimo en agosto, con una evolución muy similar a la de Canarias (Figura 6). La mayor parte de los buques hacen sólo escala, puesto que Madeira o Canarias no son puertos base de las navieras, como es el caso de Barcelona en el Mediterráneo o Miami en el Caribe-Golfo de México. Precisamente ese hecho determina que haya dos máximos en el atraque de barcos en Funchal que se corresponden, a grandes rasgos, con el otoño y la primavera. Los cruceros recalán en Madeira cuando se desplazan desde el mercado del Mediterráneo al del Caribe-Golfo de México, especialmente en noviembre y principios de diciembre, y en la primavera (marzo-abril) cuando se produce el movimiento contrario: las grandes compañías desplazan sus unidades desde el Caribe-Golfo de México para pasar el verano en el Mediterráneo (Dorta, 2004).

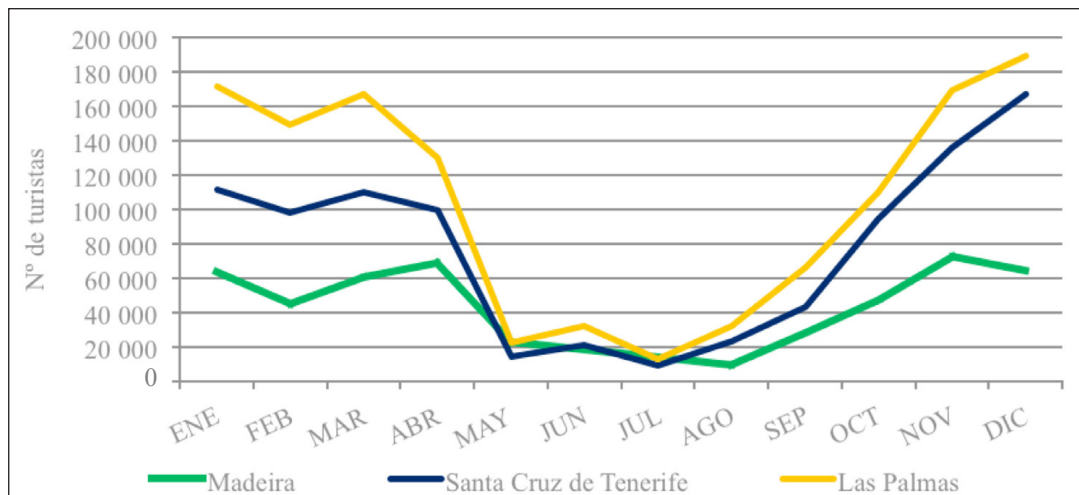
A la luz de los datos, es importante destacar que los destinos insulares portugueses, Azores y Madeira, suponen, en conjunto, aproximadamente un 10% del turismo en Portugal.

Figura 5
EVOLUCIÓN MENSUAL DEL NÚMERO DE ALOJADOS EN HOTELES EN MADEIRA (2016)



Fuente: DREM. Elaboración propia.

Figura 6
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE TURISTAS DE CRUCEROS, MADEIRA (2016) Y CANARIAS (PROVINCIAS) (2015)



Fuente: DREM, 2017; Puertos del Estado. Elaboración propia.

4.4. Canarias

El archipiélago canario es una de las potencias mundiales en turismo. No sólo si se compara con las demás regiones macaronésicas, ya analizadas, sino también con algunos de los destinos más populares del planeta. Los 15 millones de visitantes de 2016 representan un valor muy relevante en el conjunto nacional, de manera que casi el 18% de los turistas extranjeros que visitan España, llegan a las Islas Canarias (INE, 2018). El archipiélago es el primer destino europeo en número de pernoctaciones (Hernández-Martín, 2016) y en el contexto nacional, sólo Cataluña recibe más turistas extranjeros que Canarias (PROMOTUR, 2017). El archipiélago registra 10 veces más visitantes que Madeira y 20 veces más que Azores o Cabo Verde. Canarias posee un volumen de turistas similar a Argentina, Brasil y Chile juntos y más turistas extranjeros que Croacia o Indonesia (IBRD, 2017).

Al igual que ocurría en Madeira, es un destino histórico, con numerosas visitas documentadas de viajeros en los siglos XVIII y XIX, atraídos por las especiales condiciones climáticas del archipiélago. En un primer momento con fines médicos, convirtiéndose en un relevante centro de turismo terapéutico (González Lemus, *et al.*, 2012). En la segunda mitad del Siglo XX el número de visitantes se incrementa, en principio con poco vigor, pero entre los años 70 y 80, con el impulso de la aviación comercial, los aumentos son muy sustanciales. Primero en las islas más pobladas (Tenerife y Gran Canaria) y, posteriormente, en Fuerteventura y Lanzarote. A mucha menor escala, se añaden La Palma y La Gomera y, marginalmente, la isla de El Hierro. En cualquier caso, estas tres poseen cifras que no son comparables con las cuatro más orientales. La Palma, la más desarrollada recibió en 2016 algo menos de 170.000 visitantes extranjeros (Figura 4).

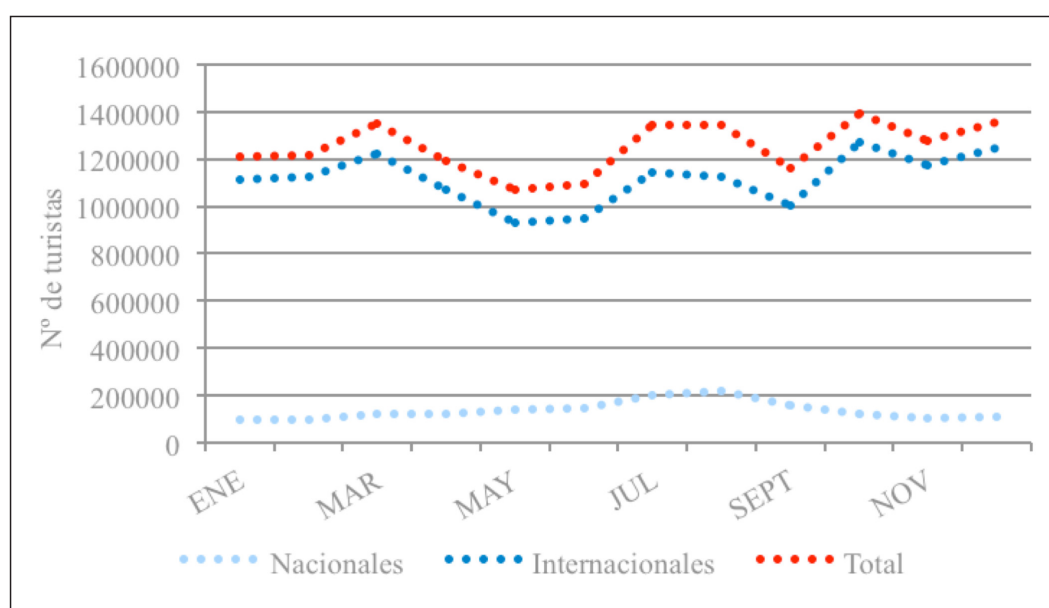
En el año 2000 Canarias ya acogía a casi 10 millones de turistas extranjeros. Sin embargo, los datos se mantienen estancados durante casi una década que termina con un pronunciado descenso en 2009 (8 millones). A partir del año siguiente la recuperación es evidente, al rozar los 13,5 millones en 2016 (PROMOTUR, 2017), lo que supone un aumento con respecto al año anterior de un 14%, como también ocurrió en Madeira

El peso del turismo en Canarias recae netamente en los visitantes extranjeros y, como en Madeira, el 60% son británicos (alrededor de 5 millones) o alemanes (3 millones), seguidos a mucha distancia por holandeses, suecos, irlandeses, italianos y franceses, aproximadamente medio millón de cada nacionalidad. No obstante, existen diferencias entre las islas con una cierta especialización por la nacionalidad de sus visitantes. En Lanzarote y Tenerife hay un claro predominio de turistas británicos, mientras que en Fuerteventura, Gran Canaria y La Palma son más los visitantes alemanes (PROMOTUR, 2017). En 2016, sólo un 11% era turismo nacional, sector que no se ha recuperado después de la crisis económica, ya que en 2007 representaba un 22%. En total, Canarias recibió en 2016 14.981.113 turistas entre nacionales e internacionales (PROMOTUR, 2017).

El comportamiento estacional presenta diferencias considerables con respecto a los otros archipiélagos. Se puede afirmar que no hay estacionalidad, aunque con algunas diferencias intermensuales (Figura 7). Existe un contraste general entre los visitantes nacionales y la mayoría de los extranjeros, especialmente británicos y alemanes. De manera que, mientras los primeros se concentran en verano, los segundos se distribuyen más regularmente a lo largo del año, aunque con algo más de peso entre los meses de

octubre y marzo y, en menor medida, en julio y agosto. La suma de los dos grupos da como resultado un descenso poco pronunciado, por un lado, en mayo y junio y, por otro, entorno a septiembre. En cualquier caso, desde el punto de vista económico, la temporada alta es claramente el invierno, al igual que Cabo Verde, cuando los precios son más elevados y, por tanto, se produce una mayor rentabilidad al haber menos competencia con otros destinos (Hernández-Martín, 2016).

Figura 7
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE TURISTAS (NACIONALES E INTERNACIONALES) EN CANARIAS (2016)



Fuente: ISTAC. Elaboración propia.

Los cruceros también suponen un significativo aporte de visitantes. En los últimos años una media de dos millones de cruceristas anuales han pasado por Canarias. Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas y Arrecife son los principales puertos de atraque (PROMOTUR, 2018). Como en Madeira, la inmensa mayoría de esos barcos sólo están en puerto algunas horas durante el día y no comienzan ni terminan su travesía en las islas. Si se analiza la evolución anual de los mismos, se observa que hay un mínimo muy marcado en los meses cálidos, entre mayo y septiembre, mientras que de noviembre a abril se presenta la temporada más alta, multiplicando por cinco los valores estivales (Figura 6). El comportamiento es, por tanto, inverso a los puertos mediterráneos tradicionales como Barcelona, Palma de Mallorca o Venecia. En realidad, como ya se ha comentado, la evolución es similar al puerto de Funchal en Madeira (Figura 6). En ambos casos, pero especialmente en Canarias, la estacionalidad es mucho mayor que la de los turistas que acceden a las islas por avión.

Finalmente, el sector turístico, en la economía canaria, representa un 34% del PIB, sólo por detrás de Baleares en el contexto nacional, y casi el 40% del empleo generado

en las islas (Exceltur, 2016), cifras sensiblemente superiores a las de los otros archipiélagos analizados (Tabla 1).

Tabla 1
PRINCIPALES DATOS DEL TURISMO EN LOS ARCHIPIÉLAGOS DE LA
MACARONESIA (2016)

	Cabo Verde	Azores	Madeira	Canarias
Extensión (km²)	4.033	2.325	828	7.447
Habitantes	539.560	245.283	267.785 (2011)	2.101.924
Habitantes/km²	134	105	323	282
Nº de turistas	644.429	625.930	1.485.076	14.981.113
% PIB	20	-	21	34
Principal emisor	Reino Unido	Portugal	Alemania-Reino Unido	Reino Unido
Estacionalidad	Máximo invernal	Máximo estival muy marcado	Máximo estival poco marcado	Sin estacionalidad
Isla con más visitantes	Sal	Sao Miguel	Madeira	Tenerife

Fuente: INE, ISTAC, DREM, SREA, IBRD. Elaboración propia

5. AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL

“La actividad turística es incompatible con un riesgo elevado de catástrofes naturales” (Besancenot, 1991: 26) y la salvaguarda de la integridad física y exigencia de seguridad resulta determinante en la elección del lugar de vacaciones (Machado, 2011). Es imprescindible, en consecuencia, planificar adecuadamente el territorio y la gestión de las emergencias para minimizar el impacto de todo tipo de riesgos potenciales sobre el turismo.

Los archipiélagos de la Macaronesia, como ya se ha indicado, presentan rasgos geográficos similares, por lo que las amenazas de origen natural a las que se encuentran expuestos son, *grosso modo*, análogas. Desde una perspectiva geológica, la actividad volcánica es la más importante, hasta el punto de que en el conjunto de la Macaronesia se han producido 68 erupciones en época histórica (Torres *et al.* 1997; Romero, 1991; Madeira, 2005; Ribeiro, 1960; GVP, 2018). También son relevantes los seísmos, aunque con diferencias entre los archipiélagos.

Entre las amenazas derivadas del clima destacan las precipitaciones intensas y torrenciales, los temporales de viento, los fenómenos inestables de origen tropical y las olas de calor que, además, son determinantes en la propagación de incendios forestales.

Así como los eventos de origen geológico están muy concentrados en determinadas islas y presentan largos periodos de retorno, los fenómenos de origen climático muestran un reparto mucho más generalizado y mayor frecuencia. Es por ello por lo que estos últimos son los que han tenido mayores consecuencias para las actividades turísticas.

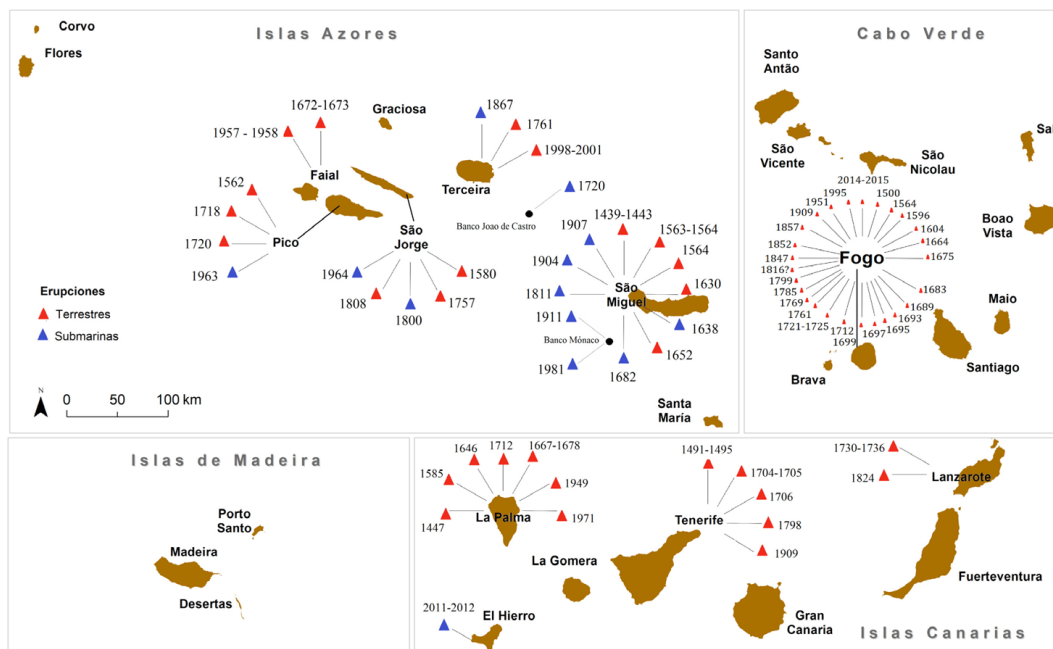
5.1. Cabo verde

5.1.1. Amenazas Geológicas

En Cabo Verde sobresalen las amenazas derivadas de la actividad volcánica. Sin embargo, todas las erupciones recientes, desarrolladas en época histórica, se han concentrado en la isla de Fogo, especialmente en torno al estratovolcán de Pico do Fogo que, paradójicamente, se convierte así en un importante atractivo para el turismo (Castillo y López, 2011). La última erupción, entre noviembre de 2014 y febrero de 2015, de las 28 registradas (Figura 8), destruyó numerosas viviendas ocasionando el desplazamiento de más de 1.000 personas.

Asociado al volcanismo se encuentra la amenaza sísmica. Cualquier erupción tiene vinculada una fase previa de sismicidad, como en el caso de las últimas de Fogo. Se trata de una sismicidad de carácter moderado en cuanto a su magnitud (USGS, 2018), siendo el mayor registrado de 5.0, en septiembre de 1998 al SW de Sao Felipe en Fogo.

Figura 8
LOCALIZACIÓN DE LAS ERUPCIONES VOLCÁNICAS HISTÓRICAS EN LOS ARCHIPIÉLAGOS DE LA MACARONESIA



Fuente: GVP, 2018; Torres *et al.*, 1997; Romero, 1991; Madeira, 2005; Ribeiro, 1960. Elaboración propia.

5.1.2. Amenazas climáticas

El clima de Cabo Verde se caracteriza por sus elevadas temperaturas medias, sensiblemente superiores a los demás archipiélagos pero, sobre todo, por el acusado déficit pluviométrico. Además, el origen de las precipitaciones, difiere del resto de los archipiélagos. Azores, Madeira y Canarias presentan una precipitación ligada al paso de sistemas frontales invernales cuyos efectos se ven potenciados por la influencia del relieve. Por el contrario, las lluvias en Cabo Verde se vinculan a depresiones estivo-otoñales derivadas del ascenso latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y presentan una alta concentración temporal y espacial (Mannaerts y Gabriel, 2000). Temporal pues apenas se registran en el 5% de los días del año (Marzol *et al.*, 2006) y espacial, porque existen importantes variaciones en el territorio, tanto entre vertientes de una misma isla como altitudinalmente. Asimismo, se observa una alta irregularidad, reflejada por unos elevados coeficientes de variación, situándose en amplias regiones entre el 40 y el 70% (Marzol *et al.*, 2006).

La distribución mensual de las precipitaciones presenta una clara concentración entre los meses de septiembre y noviembre, aunque julio y agosto también pueden registrar importantes episodios torrenciales. Del mismo modo, en el invierno se pueden dar episodios aislados de lluvias vinculados a una prolongación de la temporada otoñal. La estación seca, por el contrario, se extiende entre finales del invierno (febrero) y la primavera. Por ello, el mayor riesgo por inundaciones relacionado con episodios de lluvias extremas se da entre agosto y octubre. Los episodios de precipitaciones intensas acontecidos en Cabo Verde, evidencian un marcado carácter torrencial, con eventos de más de 300 mm en 24 horas, como ocurrió en 1983 en la isla de Santiago, o los más de 240 mm recogidos en el mismo intervalo temporal en la isla de Sal, en septiembre de 2012.

Las olas de calor son otra de las amenazas con posibles consecuencias en la actividad turística, fundamentalmente por los efectos que éstas producen en la salud de la población y en la imposibilidad del desarrollo de actividades (turísticas) al aire libre. El ascenso-térmico, está vinculado con la presencia de aire continental proveniente del Sahara que se prolonga durante un número determinado de días, llegando en algunos episodios a los 40°C, en el caso de las máximas y los 25°C para las mínimas. Respecto a su calendario, éstas presentan unos máximos de incidencia comprendidos entre agosto y noviembre, como las que se produjeron en agosto de 2016 y octubre de 2017.

Los alisios continentales, denominados “harmattan” conforman el régimen general de vientos más frecuente en el archipiélago, existiendo sectores donde se pueden alcanzar rachas moderadas, sobre todo en determinados sectores de cumbre y en las islas situadas al NE, Sal y Boa Vista. La situación latitudinal de Cabo Verde hace que habitualmente el viento no suponga una amenaza de consideración. No obstante, recientemente, se ha registrado el primer ciclón tropical en el archipiélago, Fred (2015), con categoría 1 y con una trayectoria y una formación anómalas (Figura 9) (Beven, 2016). Aunque la génesis de estos fenómenos se sitúa en las proximidades del archipiélago, en concreto al Sur de éste, Cabo Verde no se había visto afectado por ellos. Estas perturbaciones originan una serie de riesgos asociados tales como vientos fuertes, temporales costeros e inundaciones que, en el caso de Fred, generaron serios daños en Boa Vista, la segunda isla en importancia

en cuanto al número de turistas. Aquí se alcanzaron velocidades de 140 km/h (Beven, 2016), sentando un precedente que hace que los vientos huracanados puedan llegar a suponer una amenaza severa. El calendario de este tipo de fenómenos está vinculado con la temporada de huracanes en el Atlántico, es decir, entre junio y noviembre, aunque es más probable entre agosto y octubre, coincidiendo con las temperaturas más altas de la superficie oceánica.

5.2. Azores

5.2.1. Amenazas Geológicas

El archipiélago de Azores presenta, por su origen y condicionantes morfoestructurales, un ambiente favorecedor para la generación de amenazas de índole geológico-geomorfológico. Se encuentra en un área de contacto entre tres placas tectónicas: Euroasiática, Africana y Norteamericana por lo que hay un riesgo elevado de erupciones volcánicas y sismos, además de los movimientos de ladera, propios de territorios de elevadas pendientes y pluviosidad abundante.

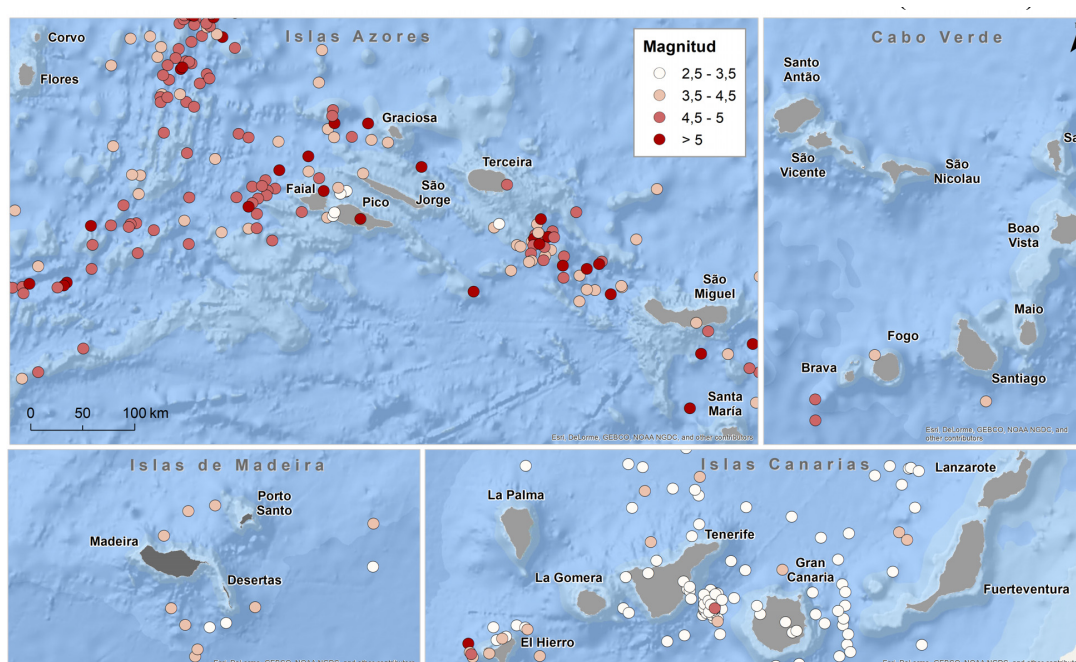
El dinamismo eruptivo de las islas es muy similar al de Canarias y Cabo Verde, caracterizándose históricamente por vulcanismo de tipo estromboliano de baja explosividad. Sin embargo, se han dado erupciones puntuales con una alta explosividad, sobre todo en el caso de Sao Miguel con la erupción de Furnas en 1630, donde fallecieron cerca de 200 personas. Además, existen peligros asociados, como la generación de erupciones sublitorales de contacto agua magma, gases y/o flujos piroclásticos, que posee grados de explosividad altos y de mayor peligro (PREPCA, 2007). Se tiene constancia de este tipo de erupciones en Sao Jorge, asociado a las erupciones de 1580 y 1808 (Blong, 1984).

Azores, ha registrado en época histórica, un total de 27 erupciones en cinco de las islas: Sao Miguel, Faial, Pico, Sao Jorge y Terceira (Madeira, 2005; GVP, 2018) (Figura 8). Todas estas se definen, por tanto, como activas desde el punto de vista volcánico junto a la isla de Graciosa, que aún mantiene algunos rasgos de actividad. Por el contrario, Santa María, Flores y Corvo son territorios donde no hay evidencias eruptivas históricas (Kueppens y Beien, 2018). Al igual que Cabo Verde y Canarias, Azores también ha sufrido erupciones en el Siglo XXI con un episodio submarino en las cercanías de Terceira en 2004. Cabe destacar que es en Azores donde se ha registrado un mayor número de eventos volcánicos submarinos (Figura 8). Entre los volcanes subaéreos sobresale el Fogo, el mayor de los tres volcanes activos de Sao Miguel y en cuyo entorno viven más de 45.000 personas, lo que implica una alta vulnerabilidad (Wallenstein *et al.*, 2007).

Los terremotos asociados a crisis volcánicas, debidos a las tensiones que genera el ascenso del magma, cómo ya se señaló para Cabo Verde, suelen iniciarse con sismos de pequeñas magnitudes que se van incrementando hasta un sismo central mayor. Tras este, las magnitudes van reduciéndose; por lo que, habitualmente, se trata de terremotos moderados. Sin embargo, los terremotos de tipo tectónico hacen que Azores sea el área de la región macaronésica con los sismos de mayores magnitudes (Figura 9), llegando a 6.5-7.5 e intensidades de hasta XI, destacando los de 1522, 1713, 1757, 1939 o 1980 (Hirn *et al.*, 1980; Madeira, 2005). La gravedad de los efectos queda patente por los más

de 6.300 muertos ocasionados en los 33 sismos con intensidad superior a VII ocurridos en el archipiélago (Caldeira *et al.*, 2017). El de peores consecuencias ha sido el del 22 de octubre de 1522, con una intensidad de X que destruyó completamente la ciudad de Vila Franca do Campo (Sao Miguel) matando a 5.000 personas (Wallenstein *et al.*, 2007). La distribución de los sismos en Azores, relacionada directamente con las áreas de contacto entre placas, hace que las islas que conforman el grupo central (Terceira, Graciosa, Sao Jorge, Pico y Faial) y las orientales (Sao Miguel y Santa María) sean las de mayor riesgo.

Figura 9
SISMICIDAD EN LOS ARCHIPIÉLAGOS DE LA MACARONESIA (1900-2017)



Fuente: USGS, 2017.

Los tsunamis constituyen otra considerable amenaza geológica para el archipiélago. De manera general se forman en el fondo oceánico debido a una falla que se activa durante un terremoto y que desplaza la masa de agua de modo repentino y con una gran energía. Esta génesis, localizada en torno al Cabo de Sao Vicente, fue la causante de uno de los tsunamis más devastadores de la historia, el de 1755, que afectó a Lisboa y costa suroeste de la península ibérica, principalmente. No obstante, sus efectos también fueron notables en Azores: las crónicas detallan como fallecieron algunos pescadores en Porto Martins en Terceira y la ola del tsunami llegó a alcanzar los 15 metros, penetrando en tierra hasta 300 metros en Terceira y Faial. En total hay constancia de 23 fenómenos de este tipo en el archipiélago (Andrade *et al.*, 2006).

Asimismo, los movimientos de ladera son una amenaza geomorfológica muy importante, tanto en Azores como en el resto de los archipiélagos de la Macaronesia, dada la

frecuencia las implicaciones territoriales que conllevan. Se vinculan con una serie de factores condicionantes (litologías, pendientes, etc.) y desencadenantes. Los factores más importantes son las precipitaciones intensas y, con mucha menor frecuencia, la sismicidad. En el caso de Azores, entre 1918 y 2006 hay constancia de un total de 40 eventos, de los cuales el de mayor gravedad se produjo en octubre de 1997 en Sao Miguel, con la muerte de 29 personas (Cunha, 2003; Marques *et al.*, 2009). También sismos de gran magnitud como el de 1522 en Vila Franca do Campo, desencadenaron procesos de dinámica de vertiente (Marqués *et al.*, 2009). Al mismo tiempo, la sismicidad precursora y que se desarrolla durante una erupción volcánica puede generar grandes movimientos de ladera, como los asociados a la erupción de Furnas de 1630 en la isla de Sao Miguel.

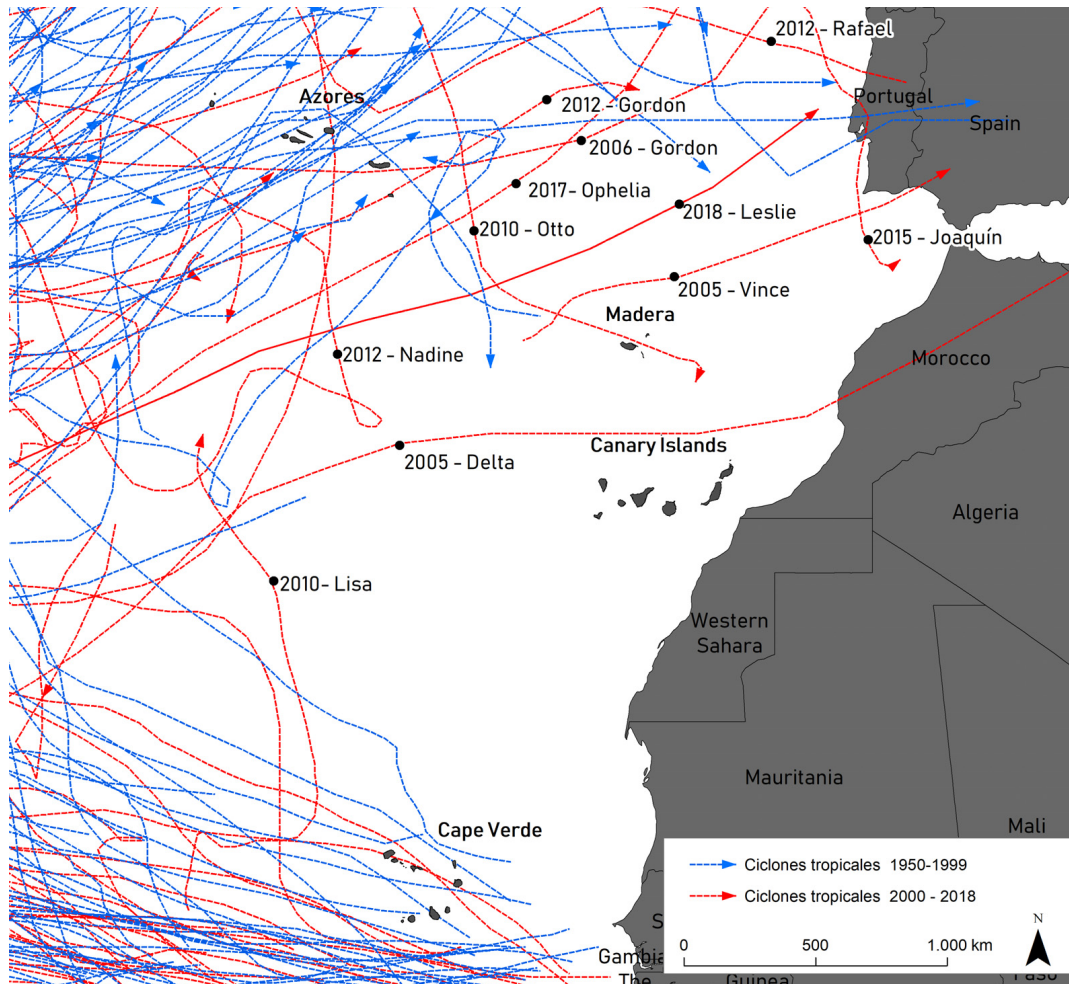
5.2.2. Amenazas climáticas

La posición de las Azores en el centro del Atlántico hace que se encuentre mucho mejor situada que el resto de los archipiélagos de la Macaronesia para recibir no sólo borrascas del frente polar sino también, de forma ocasional, ciclones tropicales. Se trata, por consiguiente, de un espacio lluvioso, tanto en los valores diarios como en los totales anuales, presentando una pluviosidad media anual comprendida entre los 1.000 y más de 2.500 mm en los sectores de montaña (Calado *et al.*, 2011). Esta precipitación posee una cierta regularidad, distribuyéndose aproximadamente en el 45% de los días del año, el valor más alto de los cuatro archipiélagos, y con coeficientes de variación entorno al 25% (Marzol, *et al.*, 2006), el más bajo de la Macaronesia. A pesar de esta amplia distribución a lo largo del año también existen episodios de lluvia con alta intensidad horaria. La mayor probabilidad de que se registren precipitaciones torrenciales corresponde a las estaciones de otoño (34%) e invierno (34%), con un mínimo primaveral (15%) y estival (16%) (Marzol, *et al.*, 2006). Los eventos más extremos, en periodo instrumental, se han situado entorno a los 300 mm en 24 horas. Es el caso de Furnas en la isla de Sao Miguel en octubre de 1974 con 276 mm, septiembre de 1983 en la isla de Santiago, Ponta Delgada, en Sao Miguel, en septiembre de 1997 con 302 mm, o en Santa María en septiembre de 1982 con 300 mm). Estas precipitaciones máximas diarias, en un territorio tan montañoso, generan fuertes escorrentías con daños considerables. Uno de los ejemplos más claros fueron las lluvias de junio de 1995 en la isla de Flores cuyas graves consecuencias ocasionaron la solicitud de ayudas a la comisión europea (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, C249/164).

El archipiélago de Azores es, con diferencia, el que muestra un mayor riesgo de ciclones tropicales. Existen registros muy antiguos, apareciendo documentado, por ejemplo, un huracán, San Ciriaco, en 1899 (NOAA, 2017). En los últimos años son numerosos los que han seguido trayectorias en las inmediaciones de las islas. Es el caso de Tanya (1995), Gordon (2006) o Alex (2016) (NOAA, 2017) (Figura 10). Aunque la temporada de huracanes en el Atlántico Norte se extiende entre junio y noviembre, la mayor probabilidad de eventos de este tipo en el archipiélago se concentra entre los meses de agosto y noviembre.

Por el contrario, la posición del archipiélago, muy alejado de manantiales de aire tropical continental hace que las olas de calor apenas tengan relevancia. Las intrusiones de aire sahariano llegan a Azores muy atenuadas, con temperaturas máximas absolutas que se han limitado a valores que raramente superan los 32°C (IPMA, 2017).

Figura 10
TRAYECTORIAS DE TORMENTAS Y CICLONES TROPICALES EN LA
MACARONESIA (1950-2018)



Fuente: NOAA. Elaboración propia.

Los temporales de viento si suponen una importante amenaza en Azores. Tanto las borrascas más profundas, especialmente entre finales del otoño y principios de la primavera, como la citada presencia de ciclones tropicales, a finales del verano y durante el otoño, dan lugar a eventos de notable relevancia. Uno de los más destacados es el paso del mencionado huracán Tanya, que se desarrolló entre los días 27 de octubre y 1 de noviembre de 1995, aunque toco las Azores ya como tormenta tropical (Pasch, 1996). Las rachas máximas de viento llegaron a rozar los 170 km/h en Terceira (PREPCA, 2007). Vientos similares también se alcanzaron al paso del ciclón tropical Gordon en agosto de 2006, que llegó a la categoría 2. La presencia de borrascas y ciclones tropicales también es responsable de la generación de fuertes temporales marinos, que

convierten a las costas en sectores de elevado riesgo, sobre todo las orientadas al norte (Calado *et al.*, 2011).

5.3. Madeira

5.3.1. Amenazas geológicas

Pese al origen volcánico del archipiélago, Madeira no ha registrado actividad reciente por lo que esta amenaza es muy limitada. Así, sólo se han sentido algunos terremotos puntuales y de muy baja magnitud (Figura 9). En diciembre de 2006, se registró, al Este del archipiélago, el de mayor magnitud, 4.5 (USGS, 2017). Las amenazas sísmica y volcánica en Madeira, por tanto, son las de menor consideración de los archipiélagos que conforman la región macaronésica.

Sin embargo, los peligros de naturaleza geomorfológica, como los movimientos de ladera, sí son relevantes. Estos se circunscriben, sobre todo, a la isla de Madeira. Hay que destacar que aproximadamente un 25% de su superficie se encuentra por encima de los 1000 m, su pico más alto roza los 1900 m, lo que unido a su reducida superficie, hace que el 65% de su extensión presente desniveles superiores al 25% (Fernandes, 2010). Las fuertes pendientes y las altas precipitaciones registradas, dan lugar a la generación de múltiples episodios de dinámica de vertientes, en especial deslizamientos y desprendimientos. En la isla de Madeira, se puede afirmar que todos los municipios presentan algún evento y, por tanto, son susceptibles de esta clase de fenómenos. Destacan Machico, Santa Ana o Cámara de Lobos, aunque Funchal es el más afectado, con casi un centenar de casos entre 2000 y 2010. Del mismo modo hay referencias en el Siglo XIX con 11 y el Siglo XX, con más de 200 (Fernandes, 2010).

5.3.2. Amenazas climáticas

Madeira presenta valores pluviométricos próximos a los 3000 mm en sectores de cumbre, similares a Azores y superiores, en general, a Canarias y Cabo Verde. Sin embargo, la menor latitud, provoca que presente una precipitación más irregular, con coeficientes de variación entorno al 30%. Si analizamos los valores máximos diarios registrados, estos son muy significativos y similares a Azores y Cabo Verde, rozando los 300 mm en 24 horas en algunos puntos de las cumbres. Es el caso de la estación de Encumeada con 277 mm en diciembre de 1976 y Areeiro con 288 mm en febrero de 2010. Respecto a la distribución anual de la precipitación, la mayor posibilidad de que se registren lluvias torrenciales se corresponde con el otoño (53%) (Marzol *et al.*, 2006), siendo numerosos los eventos que dieron lugar a víctimas y deslizamientos de ladera asociados, entre los que destacan los episodios de febrero de 2010. En ese mes se superó dos veces el valor máximo registrado en la serie del observatorio de Funchal (IPMA, 2017), siendo uno de los eventos de consecuencias más graves en la historia reciente del archipiélago, con 45 muertos, 6 desaparecidos y más de 100 heridos (Fragoso *et al.*, 2012).

Las olas de calor también son frecuentes y muy intensas, siempre asociadas a advecciones de aire sahariano. Es habitual que superen los 38°C, especialmente en los meses

estivales. Además, contribuyen, de manera decisiva, a la propagación de incendios forestales, convirtiendo a estos en una de las mayores amenazas. El desarrollo de este tipo de fenómenos está ligado a la baja humedad relativa, temperatura elevada y vientos fuertes, a lo que hay que añadir, además, la extensa masa forestal que recubre buena parte de la isla, lo que supone una gran cantidad de material combustible. Entre 2000 y 2010 se han registrado un total de 73 incendios forestales (Fernandes, 2010), aunque de todos ellos destacan dos eventos: el producido el 13 de agosto de 2010, en el que se quemó aproximadamente el 11% (8.423 ha.) de la superficie de la isla y el acontecido en agosto de 2016, en el que el fuego llegó al casco urbano de Funchal, con un balance de cuatro muertos y más de 1.000 desplazados, además de cuantiosas pérdidas económicas. Asimismo, este último supuso un importante impacto en el sector turístico, ardiendo incluso un hotel de lujo (Agencia EFE, 2016) y siendo necesaria la evacuación de, al menos, seis hoteles del municipio (Hosteltur, 2016).

Por otro lado, las borrascas intensas y, ocasionalmente, fenómenos de origen tropical, puede derivar en situaciones de vientos fuertes, con rachas de más de 100 km/h (IPMA, 2017). Estos presentan su máxima probabilidad en el invierno y otoño. En cualquier caso, los temporales de viento no están entre los principales desastres en Madeira (Fernandes, 2010).

5.4. Canarias

5.4.1. Riesgos geológicos

La actividad volcánica histórica en Canarias es bien conocida. En total, el archipiélago ha sufrido 15 erupciones repartidas en cuatro islas (Romero, 1991; GVP, 2018) (Figura 8), aunque Canarias, como ya se vio en el caso de Cabo Verde, es la muestra de que el vulcanismo activo no es sólo una amenaza, también puede ser un recurso: las coladas de lava, los cráteres o las cenizas volcánicas suponen importantes atractivos, existiendo, incluso, dos parques nacionales (Teide y Timanfaya), en los que el paisaje volcánico es la esencia de la propia figura de protección ambiental.

La actividad sísmica, casi siempre vinculada a la actividad volcánica, no suele ser importante, tratándose de sismos de baja intensidad. Los terremotos, como ya se ha señalado son frecuentes antes de las erupciones, aunque los sismos más importantes suelen producirse al tiempo de la apertura de las grietas o bocas eruptivas. Un ejemplo de ello, según los datos del IGN (2017), son los más de 13.000 registros sísmicos vinculados con la erupción de El Hierro entre 2011 y 2012. No obstante, existen también referencias a crisis sísmicas, siempre de baja intensidad (microsismicidad), que no parecen estar asociadas de modo directo con ningún tipo de manifestación eruptiva, tal y como ha ocurrido en 2004 en Tenerife y 2017 en La Palma. En cualquier caso, los sismos de mayor importancia muestran magnitudes bajas, de manera que durante la fase instrumental el evento más importante se produjo el 9 de mayo de 1989 con una magnitud de 5.2, sentido, sobre todo, en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife (Figura 9).

Los movimientos de ladera son el riesgo de naturaleza geomorfológica con mayor ocurrencia en las islas, desencadenados en su gran mayoría, por precipitaciones intensas y,

puntualmente, por sismicidad o procesos de termoclastia. Tanto deslizamientos como desprendimientos son procesos que se circunscriben a las áreas con mayores pendientes de las islas, como el Macizo de Anaga (Tenerife), la Caldera de Taburiente (La Palma) o la zona central de la isla de Gran Canaria. De hecho, el de Rosiana en Gran Canaria, en febrero de 1956, ha sido el movimiento de ladera más importante en época histórica, obligando a la evacuación de 250 personas (Linares *et al.*, 2001). El riesgo asociado a los movimientos de ladera despierta enorme interés de cara al desarrollo de actividades turísticas al aire libre, como las que se relacionan con el senderismo. Esto es así, porque gran parte de los senderos de la red canaria atraviesan áreas de fuertes pendientes con una gran susceptibilidad ante este tipo de fenómenos, lo que hace que se produzcan problemas frecuentes. Un ejemplo es lo ocurrido en el Barranco del Infierno en la isla de Tenerife con senderistas que han perdido la vida como consecuencia de desprendimientos (El Diario, 2015).

5.4.2. Amenazas climáticas

En Canarias los valores termométricos extremos son muy elevados, habiéndose superado los 40°C en una gran parte del territorio y con temperaturas por encima de los 44°C, como en julio de 1952, o agosto de 1988, muy cercanos a los máximos nacionales (Dorta, 2007). Además, estos valores se pueden alcanzar en un amplio periodo del año, entre mayo y octubre, aunque son los meses más cálidos los que muestran una mayor intensidad. Asociados a las olas de calor, en las últimas décadas, son numerosos los grandes incendios forestales. Destacan los de 2007, donde ardieron más de 35.000 ha., en tres islas de manera simultánea, convirtiéndose en el peor incendio forestal en la historia de Canarias. Estos, cada vez más, afectan a espacios habitados, como se ha señalado también para Madeira, y a senderos y atractivos turísticos.

Los temporales de viento, muchas veces relacionados con procesos de inestabilidad generalizada y, por tanto, también a precipitaciones intensas, suponen un destacado impedimento para el turismo. Son, sobre todo, temporales otoñales e invernales con un origen diverso. Lo habitual es que se produzcan debido a la llegada de borrascas, relativamente profundas, con flujos dominantes del tercer y cuarto cuadrantes. No obstante, en ocasiones, la génesis tiene que ver con depresiones más meridionales que generan vientos del segundo o tercer cuadrantes, situaciones poco habituales que dan lugar a daños considerables, precisamente por su poca frecuencia ya que las infraestructuras no están preparadas para esas direcciones, como ocurrió en enero de 1999 (Criado y Dorta, 2003). También son posibles flujos intensos del segundo cuadrante de procedencia sahariana que pueden dar lugar a vientos catabáticos muy fuertes y racheados, cálidos y muy secos, en las fachadas septentrionales y occidentales de las islas. Estas situaciones, además, son determinantes en la propagación de los, ya citados, incendios forestales (Dorta, 2007). En cualquier caso, las rachas máximas alcanzadas en el archipiélago se han producido con la llegada de tormentas tropicales, en las que se profundizará más adelante.

El viento, así mismo, está relacionado con temporales marinos que generan graves daños en las costas e impiden todo tipo de actividades de ocio y recreación en el mar y en el litoral. Destacan los casos de abril de 2003, o el de enero de 1999 con oleaje de más de 5 metros y dirección dominante del Este (Rodríguez-Báez *et al.*, 2017). Se trata

de fenómenos claramente estacionales con un máximo entre noviembre y marzo. En ocasiones, no es necesaria la presencia del viento en las proximidades de Canarias para la producción de oleaje intenso puesto que su origen se encuentra en profundas borrascas situadas a latitudes muy superiores (Yanes, 2017). También se han detectado temporales por rebase del oleaje debido a mareas especialmente activas combinadas con mar de fondo. Estos procesos suelen darse de forma muy puntual en el tiempo y en el espacio. Es el caso del barrio de San Andrés en Santa Cruz de Tenerife y el casco urbano de Garachico en el Norte de la isla de Tenerife. Al contrario que los anteriores la época de mayor frecuencia de éstos son los meses de verano y septiembre, destacando el episodio de agosto de 2011 (Rodríguez-Báez *et al.*, 2017).

Entre todos los eventos de origen climático, las inundaciones son las que originan más daños y un elevado número de víctimas. Las precipitaciones en Canarias vienen definidas, en primer lugar, por su fuerte irregularidad, con coeficientes de variación superiores a Madeira y Azores y cercanos a los de Cabo Verde, situándose en la mayor parte del territorio entre el 35% y el 60%. En segundo lugar, por su alta intensidad horaria, alcanzando los valores más extremos de toda la Macaronesia, superando los 400 mm en 24 horas (Marzol, 1988; Dorta, 2007). Existen multitud de referencias históricas, siendo, desgraciadamente célebres, los de noviembre de 1826 con casi 300 muertos sólo en la isla de Tenerife (Bethencourt y Dorta, 2010) o enero de 1957, con 32 fallecidos en La Palma (Marzol, 1988). Entre los episodios recientes más destacados, figuran las lluvias que han afectado a zonas urbanas y turísticas. Sobresalen las precipitaciones de febrero de 1989 en la ciudad de las Palmas de Gran Canaria, con más de 150 mm en algunos puntos del área metropolitana y daños muy cuantiosos (Máyer, 2003), marzo de 2002 en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife con nueve muertos, precipitaciones cercanas a los 250 mm y pérdidas valoradas en más de 200 millones de euros (López *et al.*, 2018), o los casos de noviembre de 2001 de La Palma y Gran Canaria que afectaron directamente a la actividad turística; en el primero fallecieron 4 personas de nacionalidad alemana en el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, mientras que en el segundo se produjeron graves daños en el municipio turístico de San Bartolomé de Tirajana, localidad que se sitúa en el quinto lugar de España en plazas alojativas (INE, 2017). Más recientemente, son importantes las lluvias de febrero de 2010 en numerosos puntos del archipiélago y octubre de 2015 en la costa Este de Gran Canaria.

Una característica habitual de las precipitaciones de alta intensidad horaria es el arrastre de grandes cantidades de sólidos heterométricos como consecuencia de la fuerza de la escorrentía debido, no sólo a la cantidad de lluvia sino, fundamentalmente, a los grandes desniveles de gran parte del territorio canario (y también, como se ha visto, de toda la Macaronesia). Es el caso de los arrastres de materiales producidos por las intensas precipitaciones de abril de 1977 (Marzol *et al.*, 2006) en Bajamar y Punta del Hidalgo, una importante zona turística de la isla de Tenerife, (Marzol, 1988), o las precipitaciones, ya citadas, de marzo de 2002 y febrero de 2010 en Tenerife que movilizaron grandes cantidades de materiales ocasionando graves daños.

Los fenómenos inestables de origen tropical suponen, desde época muy reciente, otra preocupación más en la gestión para la reducción de riesgos de desastre y protección civil. El paso de la tormenta tropical Delta entre Canarias y Madeira a finales de noviembre de

2005 supuso un hito en las condiciones climáticas de este sector de la Macaronesia. Aun así, aunque la temporada de huracanes de 2005 fue excepcional, se ha constatado que ha habido otros episodios similares en el pasado, como los de noviembre de 1826 y diciembre de 1975 (Dorta *et al.*, 2018), con daños incluso superiores. Todo ello implica la posibilidad de que se repitan eventos de estas características en el futuro, no sólo en Canarias sino en cualquier archipiélago de la Macaronesia, como se ha visto a lo largo de estas páginas. Este tipo de fenómenos dan lugar a la suma de vientos extremos y lluvias con intensidades torrenciales, además de temporales marinos. Se puede deducir, en función de la ocurrencia pasada, que dichos fenómenos podrían producirse, en Canarias, entre agosto y diciembre.

6. AMENAZAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Es previsible que la mayor parte de los riesgos de origen climático señalados a lo largo de este texto sufran cambios en un futuro próximo como consecuencia del calentamiento global. Algunos estudios ya indican variaciones significativas, aunque hay que señalar que resulta complicado adaptar los grandes modelos climáticos a espacios tan reducidos como las islas de la Macaronesia.

En primer lugar, ya es evidente el ascenso térmico generalizado, especialmente significativo en las temperaturas nocturnas, en la alta montaña y más acentuado a partir de los años 70 del siglo pasado (Cropper, 2013; Cropper y Hanna, 2014; Martín *et al.*, 2012; Luque *et al.*, 2014). El comportamiento pluviométrico es más complejo, aunque las tendencias generales señalan un descenso de los totales en Canarias, Madeira y Cabo Verde, frente a Azores con una muy leve tendencia al ascenso (Cropper, 2013). Por ello, es previsible un incremento de las sequías en los tres primeros archipiélagos. No obstante, algunas investigaciones indican que, al mismo tiempo, se está produciendo un aumento en la concentración temporal de la precipitación (Tarife *et al.*, 2012; Máyer *et al.*, 2017). Por tanto, en lo que respecta a los riesgos en relación con el turismo, es probable que el cambio climático tenga repercusiones en los episodios de lluvia intensa incrementando las inundaciones así como los movimientos de ladera, ya de por sí muy frecuentes en todos los archipiélagos. Así mismo, el ascenso de las temperaturas y, sobre todo, el mayor calentamiento del Sáhara (IPCC, 2013) hará que las olas de calor presenten mayor virulencia al trasladarse, en el futuro próximo, masas de aire más cálidas que las actuales. En esta línea, varias investigaciones demuestran, además, un aumento, que ya se está produciendo, no sólo en la intensidad sino también en el número de olas calor (AEMET, 2015). Igualmente, se está alargando la temporada afectada por altas temperaturas, comenzando a mediados de la primavera y llegando hasta bien entrado el otoño. Todo ello hace que se incremente simultáneamente el riesgo de incendio forestal, sobre todo en Madeira y Canarias, tanto en cuanto a intensidad de las situaciones como al alargamiento de la temporada de ocurrencia.

Pero la cuestión más inquietante es la presencia de fenómenos inestables de origen tropical en los últimos años con un acercamiento, cada vez más evidente, constatado en el presente siglo, hacia la región de estudio (Figura 10). El calentamiento de los océanos crea las condiciones adecuadas para que aumenten las posibilidades del paso de tormentas y ciclones tropicales por todos los archipiélagos macaronésicos (Dorta *et al.*, 2018).

Por último, un previsible ascenso del nivel del mar (Fraile *et al.*, 2014) tendrá repercusiones en la gravedad de los temporales marinos puesto que sus consecuencias se dejarán sentir en sectores del litoral a los que hasta ahora no había llegado el oleaje, mucho más teniendo en cuenta que la mayor parte de los alojamientos y las actividades de ocio se encuentran a muy pocos metros de la línea de costa.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las características físicas de los cuatro archipiélagos analizados presentan un elevado grado de similitud. Todas son islas volcánicas y, en la mayoría, el relieve posee una entidad considerable, superando o rozando, en muchos casos, los 2000 m. de altitud. Las islas más montañosas muestran así una rica variedad de paisajes, lo que aumenta el valor turístico de esos destinos, aunque son las condiciones climáticas el principal reclamo para los visitantes europeos, constituyendo, sobre todo, destinos de sol y playa. Solo Azores, el único archipiélago donde predomina el turismo nacional, no posee una imagen de marca tan asociada con el tradicional turismo costero.

Los análisis expuestos a lo largo de estas páginas, en el marco de un territorio tan densamente poblado y explotado desde una perspectiva turística, han mostrado las amenazas de origen natural a las que están sometidos los territorios insulares de la Macaronesia y la gran importancia económica del sector turístico en todos los archipiélagos. Este representa un pilar esencial en su desarrollo socioeconómico. La actividad turística genera un porcentaje muy significativo de los PIBs (Tabla 1) y un notable aporte en el mercado laboral, aunque existen diferencias entre los archipiélagos en función de sus rasgos climáticos, situación económica o tradición turística. Aún así, a escala insular, los datos muestran diferencias muy considerables en el reparto geográfico de los turistas, de manera que unas pocas islas concentran gran parte de los flujos (Figura 4).

Canarias es la región más explotada y Cabo Verde y Azores, las que presentan cifras más modestas. En cualquier caso, el elevado número de visitantes implica una alta exposición que, junto con las condiciones geológicas y climáticas más extremas, determinan riesgos relevantes tanto para la población residente como para los visitantes.

El origen volcánico de la Macaronesia y los imponentes desniveles de la mayoría de las islas son los que determinan, en buena medida, los riesgos de origen natural a los que están expuestos estos territorios insulares. El volcanismo activo, sobre todo de tipo estromboliano y de explosividad moderada, sólo afecta a algunas de las islas, aunque el número de erupciones es elevado en época histórica. En relación con ello, en algunos archipiélagos, los seísmos son notables, especialmente en el caso de Azores aunque también es importante el origen tectónico de los de mayores magnitudes.

Por otro lado, el clima de las islas aún siendo el principal reclamo para los visitantes, también presenta, en ocasiones, manifestaciones extremas que pueden originar desastres muy importantes. Es el caso de las olas de calor, sobre todo en Madeira y Canarias que, a su vez, son las responsables de la propagación de devastadores incendios forestales. También los temporales de viento en todos los archipiélagos, pero en especial en Azores, por su mayor exposición a borrascas profundas del Frente Polar y, sobre todo, por el paso de algunos fenómenos inestables de origen tropical como tormentas y ciclones tropicales que,

en los últimos años, también han afectado a Madeira, Cabo Verde y Canarias. No obstante, entre las amenazas de génesis climática, las lluvias intensas y torrenciales con efecto de inundación y, en ocasiones, los movimientos de ladera originados por las mismas, son las que producen mayores daños y más víctimas. En los cuatro archipiélagos analizados son muy frecuentes y han dado lugar a desastres de gran magnitud.

Inciendo en la comparación entre archipiélagos, hay que destacar que la combinación de las manifestaciones climáticas, geológicas y geomorfológicas más extremas permite afirmar que Azores es el territorio con el mayor número de peligros y, en la mayor parte de los casos, con los eventos de desastre más relevantes. El archipiélago está sometido a los peores temporales de viento como consecuencia del paso de fenómenos tropicales, los terremotos de mayores magnitudes y tsunamis de más envergadura, al margen de las demás amenazas que son similares, en general, al resto de los archipiélagos. El número de víctimas en estas islas es muy superior al de los demás territorios analizados por lo que es indudable que en Azores los riesgos -la combinación de amenazas con la vulnerabilidad- de origen natural son los más graves.

A escala de más detalle, a nivel insular, y combinando las amenazas con la densidad demográfico-turística los resultados son muy concluyentes. Sao Miguel, es el territorio con una mayor variedad e intensidad en los peligros, lo que unido a que es la isla más poblada y con un volumen de visitantes muy superior al resto de las islas del archipiélago, está más afectada por los riesgos de origen natural para sus habitantes y turistas. En Sao Miguel se ha registrado el terremoto de peores consecuencias de toda la Maronesia (octubre de 1522) (Wallenstein *et al.*, 2007), la erupción volcánica más explosiva en periodo histórico (Furnas en 1630) (PREPCA, 2007) y, además, entorno al volcán activo Fogo vive la mitad de la población de la isla (Wallenstein *et al.*, 2007). El movimiento de ladera de mayor gravedad (octubre de 1997) de Azores también se dio en la isla de Sao Miguel (Cunha, 2003; Marques *et al.*, 2009). Por último, la isla se ha visto afectada por tsunamis, ciclones tropicales y precipitaciones torrenciales.

Con un número de amenazas menor, al no contar con seísmos de magnitudes significativas, en general, y una probabilidad muy inferior en el paso de ciclones y tormentas tropicales pero con una exposición superior que Sao Miguel -casi un millón de habitantes y 5 millones de turistas-, se encuentra la isla de Tenerife. Los eventos de desastre acontecidos en este territorio también han sido muy importantes. Fue el territorio más afectado por el peor evento meteorológico de Canarias (noviembre de 1826) (Bethencourt y Dorta, 2010), ha tenido 4 erupciones volcánicas recientes, siendo la segunda isla canaria después de La Palma con más actividad, es la isla con mayor superficie forestal de Canarias y, por tanto, muy vulnerable ante los incendios forestales y, por último, ha sufrido innumerables eventos de inundación.

Las islas de Terceira, La Palma, Gran Canaria y Madeira con amenazas de consideración y con un peso importante de visitantes también tienen riesgos altos por la afección de fenómenos extremos de origen natural. En este sentido, probablemente haya sido la isla de Madeira la que más haya sufrido el impacto de fenómenos de origen natural con consecuencias directas sobre el turismo en la última década. Es el caso del incendio forestal de agosto de 2016 que, como ya se ha señalado, afectó al casco urbano de Funchal y a varios establecimientos hoteleros. El desarrollo de un incendio forestal afecta de

manera directa al principal atractivo turístico de la isla, su patrimonio natural, vinculado, en gran medida, con los espacios forestales. La generación de un gran incendio perturba, de forma severa, al desarrollo normal de la actividad turística, no sólo durante la duración del evento, sino a posteriori disminuyendo las reservas hoteleras, ventas de billetes aéreos y demás productos (Fernandes, 2010).

En esta línea, uno de los episodios de desastre mejor estudiados en cuanto a sus efectos directos sobre la actividad turística fueron las precipitaciones torrenciales con efecto de avenida que se produjeron en Madeira en febrero de 2010 (Fragoso *et al.*, 2012; Machado, 2011). Además de grandes pérdidas económicas y casi medio centenar de muertos se registraron miles de cancelaciones de reservas, el desvío de numerosos cruceros e, incluso, como consecuencia de ello, un aumento en los índices de paro de ese año en la isla (Machado, 2011). En los meses posteriores al episodio meteorológico las instituciones madeirenses tuvieron que realizar grandes esfuerzos propagandísticos para que los visitantes volviesen a ser los mismos que antes del desastre (Machado, 2011). Este episodio muestra, claramente, la vulnerabilidad de los territorios insulares de reducidas dimensiones, altamente dependientes del turismo, ante los desastres.

Otro ejemplo, en ese sentido, es una previsible erupción volcánica. Aunque, como se ha señalado, la amenaza volcánica es limitada, sobre todo por los largos periodos de recurrencia, el vulcanismo estromboliano poco explosivo, puede provocar un enorme problema de gestión de la emergencia. Sobre todo, por la necesaria evacuación de la población previsiblemente afectada en territorios tan densamente poblados y con miles de turistas pernoctando en hoteles y todo tipo de alojamientos. Teniendo en cuenta, además, que son posibles escenarios similares a lo ya ocurrido con el volcán Eyjafjallajökull en Islandia en abril de 2010 (Gudmundsson *et al.*, 2010) en el que se produjo el cierre de aeropuertos como consecuencia de la emisión de cenizas. En esa línea, algunas de las islas, como Tenerife y La Palma, se encuentran desarrollando planes de actuación volcánica en previsión de posibles erupciones, documentos que se hacen cada vez más necesarios para poder reducir los riesgos y gestionar las emergencias.

Por otro lado, la planificación urbana en los núcleos turísticos no ha estado acorde con el medio, como se puso de manifiesto con los episodios ya mencionados de Madeira en 2010 y el Sur de Gran Canaria en noviembre de 2001, de manera que no sólo son numerosos los eventos de inundación, sino que se incrementan año tras año (Machado, 2011; Máyer y Pérez Chacón, 2006; Máyer *et al.*, 2006). Por ello, la preocupación por el conocimiento del clima debe ser cada día mayor para adaptar la oferta turística de la mejor manera posible a los rasgos climáticos y a sus valores extremos. Es imprescindible tener presentes los rasgos climáticos en la planificación del territorio que va a ser explotado turísticamente, estudiando no sólo las condiciones favorables para el desarrollo sino también los posibles riesgos. En ese contexto, al menos para el caso canario, los puntos de riesgo por inundación fluvial o marina se encuentran ya detectados en las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) elaboradas por los cabildos insulares, en el contexto de la Directiva europea de inundaciones (2007/60). Aún así, probablemente, los principales desafíos en la gestión de situaciones meteorológicas adversas en todas las islas sean los fenómenos inestables de génesis tropical, sobre todo con el incremento en la probabilidad de co-ocurrencia como consecuencia del Cambio climático

(Dorta et al., 2018). Esa posibilidad debería suponer para los gestores de emergencias y los planificadores del turismo una preocupación primordial a la hora de salvaguardar la vida y los bienes de residentes y turistas.

Además, en el marco del calentamiento global, hay que destacar la propia vulnerabilidad de los sectores costeros, sobre todo de las islas pequeñas (Calado *et al.*, 2011) como es el caso de los archipiélagos macaronésicos, puesto que la mayoría de los peligros de génesis climática incrementarían su intensidad con el ascenso térmico y, particularmente en las costas, con la subida del nivel del mar.

Es evidente, por tanto, la necesidad de avanzar en el aumento de la resiliencia de las poblaciones y los visitantes, con una más adecuada planificación y adaptación, con una mejora en los servicios de alerta temprana y emergencias contribuyendo así a una menor vulnerabilidad y a sociedades más preparadas para afrontar no sólo los peligros actuales sino los más que previsibles relacionados con el cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se enmarca en los proyectos Alert4you (Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER-Código MC/3.5/154) e INTUCAN (PROID2017010027) del Gobierno de Canarias.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA EFE. (10 de agosto de 2016). Portugal pide auxilio a la UE por el fuego en Madeira y otras zonas del país. Recuperado de <https://www.efe.com>
- AEMET (2015): *Olas de calor en España desde 1975*. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Agencia Española de Meteorología.
- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET). (2017)
- ANDRADE, C., BORGES, P. y FREITAS, M.C. (2006): «Historical tsunami in the Azores archipelago (Portugal)». *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 156 (1-2), pp. 172-185.
- BESANCENOT, J.P. (1991): *Clima y turismo*. Masson, Barcelona.
- BETHENCOURT, J. y DORTA, P. (2010): «The storm of november 1826 in the Canary Islands: possibly a tropical cyclone?», *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, nº 92, pp. 329-337.
- BEVEN, J.L. (2016): *Hurricane Fred*. National Hurricane Center Tropical Cyclone Report. NOAA.
- BLONG, R.J. (1984): *Volcanic Hazards. A Sourcebook on the effects of Eruptions*, Sidney, Academic Press Australia.
- CALADO, H., BORGES, P., PHILLIPS, M., NG, K. y ALVES, F. (2011): «The Azores archipelago, Portugal: improved understanding of small island coastal hazards and mitigation measures», *Natural Hazards*, vol. 58 (1), pp. 427-444.
- CALDEIRA, B., FONTIELA, J., BORGES, J.F. y BEZZEGHOUD, M. (2017): «Grandes terremotos en Azores», *Física de la Tierra*, nº 29, pp. 29-45.

- CASTILLO, A.M. y LÓPEZ, T. (2011): «Enoturismo y desarrollo económico. Un estudio de caso en Cabo Verde (África)», *Papeles de Geografía*, nº 53-54, pp. 65-76.
- CROPPER, T. (2013): «The weather and climate of Macaronesia: past, present and future». *Weather*, vol. 68 (11), pp. 300-307.
- CROPPER, T. y HANNA, E. (2014): «An analysis of climate of Macaronesia, 1865-2012». *International Journal of Climatology*, vol. 34 (3), pp. 604-622.
- CRIADO, C. y DORTA, P. (2003): «An unusual “blood rain” over the Canary Islands (Spain). The storm of January 1999». *Journal of Arid Environments*, vol. 55 (4), pp. 765-783.
- CUNHA, A. (2003): «The October 1997 landslides in Sao Miguel, Azores, Portugal». *Lessons Learnt from Landslide Disasters in Europe*, European Comission, JRC.
- DORTA, P. (2004): «Clima y Turismo», en *Turismo y Territorio en la Sociedad Globalizada*. Ayuntamiento de la Villa de Adeje e Instituto Pascual Madoz del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Carlos III. Santa Cruz de Tenerife, pp. 155-188.
- DORTA, P., GELADO, M.D., HERNÁNDEZ, J.J., CARDONA, P., COLLADO, C., MENDOZA, S., RODRÍGUEZ, M.J., SIRUELA, V. y TORRES, M.E. (2005): «Frecuencia, estacionalidad y tendencias de las advecciones de aire sahariano en Canarias (1976-2003)». *Investigaciones Geográficas*, nº 38, pp. 23-45.
- DORTA, P. (2007): «Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenazas y vulnerabilidad», *Geographicalia*, nº 51, pp. 133-160.
- DORTA, P., LÓPEZ, A. y DÍAZ, J. (2018): «El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro». *Cuadernos Geográficos*, vol. 57 (2), pp. 27-52.
- DREM. (2017): *Direção Regional de Estatística de Madeira*.
- EL DIARIO. (27 de octubre de 2015). El Barranco del Infierno fue revisado antes del accidente mortal según el Cabildo de Tenerife. Recuperado de <https://www.eldiario.es>
- EXCELTUR. (2016): *Balance empresarial del año 2016 y perspectivas para 2017*. Madrid.
- FERNANDES, D.M. (2010): *Turismo e Riscos na Ilha da Madeira*. Facultad de letras da Universidad de Coimbra. Tesis Doctoral.
- FRAILE, E., SÁNCHEZ, E., FERNÁNDEZ, M., PITA, M^a. F. y LÓPEZ, J.M. (2014): «Estimación del comportamiento futuro del nivel del mar en las islas canarias a partir del análisis de registros recientes», *Geographicalia*, nº 66, pp. 79-98.
- FRAGOSO, M., TRIGO, R.M., PINTO, J.G., LOPES, D., ULBRICH, S., y MAGRO, C. (2012): «The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 12 (3), pp. 715-730.
- GÓMEZ MARTÍN, B. (1999): «La relación clima-turismo: consideraciones básicas en los fundamentos teóricos y prácticos». *Investigaciones Geográficas*, nº 21, pp. 21-34
- GUILLERMO, A. y CAMACHO, R. (2015): *El sector del turismo en Cabo Verde 2015*. Proexca, Gobierno de Canarias.
- GONZÁLEZ LEMUS, N. (1997): *Comunidad británica y sociedad en Canarias*. Santa Cruz de Tenerife, Edén Ediciones.

- GUDMUNDSSON, M. T., PEDERSEN, K. VOGFJÖRD, B. THORBJARNARDÓTTIR, S. JAKOBSDÓTTIR, y ROBERTS, M. J. (2010): «Eruptionsof Eyjafjallajökull Volcano, Iceland, EosTransactions», *American Geophysical Union*, vol. 91 (21), pp. 190-191.
- GONZÁLEZ-LEMUS, N., GONZÁLEZ, A. y HERNÁNDEZ, J.A. (2012): *El viaje y el turismo en Canarias*. Anroart Ediciones, Madrid.
- HOSTELTUR. (2018). Disponible en: <https://hosteltur.com>, [consultado: 28 de abril 2019].
- HERNÁNDEZ-MARTÍN, R. (2016): «Impactos económicos del turismo», en *¿Existe un modelo turístico canario?*. San Cristóbal de La Laguna, Promotur Turismo Canarias S.A.
- HIRN, A., HAESSLER, H., HOANG TRONG, P., WITTLINGER, G. y MENDES VICTOR, L.A. (1980): «Aftershock of the January 1st, 1980, earlyquake and present-day tectonics in the Azores». *Geophysical Research Letters*, vol.7 (7), pp. 501-504.
- INSTITUTO CANARIO DE ESTADÍSTICA (ISTAC). (2018): *Encuestas de Hostelería y Turismo*. Gobierno de Canarias.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INEP). (2017): *Estatísticas do Turismo 2016*, Lisboa.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (2018): *Encuestas del sector servicios*, Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA CABO VERDE (INECV). (2017): *Estatísticas do Turismo*, Santiago.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA (IPMA). (2017)
- IPCC (2013): «Climate Change 2013: The Physical Science Basis», En: Stocker, Thomas., Quin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. y Midley, P. (Eds.): Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 1535 pp.
- KUEPPENS. U. y BEIEN, C. (2018): *Volcanoes of the Azores: Revealing the Geological Secrets of the Central Northern Atlantic Islands*. Springer, 355 pp.
- LINARES, R., LOMOSCHITZ, A, PALLÍ, LL., ROQUÉ, C., BRUSI, D. Y QUINTANA, A. (2001): «Reconocimiento geofísico del deslizamiento de Rosiana (Depresión de Tirajana, Gran Canaria)», *SCIENTIA Gerundensis*, nº 25, pp. 35-50.
- LÓPEZ, A., DORTA, P. y DÍAZ, J. (2018): «Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros». *El clima: aire, agua, tierra y fuego*, AEC, Serie A, Cartagena, pp. 749-759.
- LUQUE, A., MARTÍN, J., DORTA P. y MAYER, P. (2014): «Temperature Trends on Gran Canaria (Canary Islands). An Example of Global Warming over the Subtropical Northeastern Atlantic». *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 4 (1), pp. 20-28.
- MACHADO, L. P. (2011): «The consequences of natural disasters in touristic destinations: The case of Madeira Island - Portugal», *Tourism and Hospitality Research*, vol. 12 (1), pp. 50-66.
- MADEIRA, J. (2005): «The volcanoes of Azores Islands: a world-class heritage». *IV International Symposium ProGeo on the Conservation of the geological Heritage*. Lattex. Facultad of Sciences. University of Lisbon, Portugal, 105 pp.

- MANNAERTS, C.M. y GABRIELS, D. (2000): «Rainfall erosivity in Cape Verde». *Soil and Tillage Research*, vol. 55 (3-4), pp. 207-212.
- MARQUES, R., ZÊZERE, J.L., y AMARAL, P. (2009): «Reconstituição e modelação probabilística da escoada detrítica de Vila Franca do Campo desencadeada pelo sismo de 22 de Outubro de 1522 (S. Miguel, Açores)». *Associação Portuguesa de Geomorfologia*, vol. I, pp. 175-182.
- MARTÍN, J.L., BETHENCOURT, J. y 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*, vol. 114 (2), pp. 343-355.
- MATINS DE ALMEIDA, A. M. (2016): «Modelling tourism demand in Madeira since 1946: and historical overview based on a time series approach». *Journal of Spatial and Organizational Dynamics*, vol. IV (2), pp. 145-156
- MARZOL, M.V. (1988): *La lluvia, un recurso natural para Canarias*. Santa Cruz de Tenerife, Caja General de Ahorros de Canarias.
- MARZOL, M.V., YANES, A., ROMERO, C., BRITO DE AZEVEDO, E., PRADA, S. y MARTINS, A. (2006): «Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde)». En *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, AEC, Serie A, Zaragoza, pp. 443-452.
- MÁYER, P. (2003): *Lluvias e inundaciones en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1869-1999)*. Las Palmas de Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- MÁYER, P. y PÉREZ CHACÓN, E. (2006): «Tourist activity and floods on the southern coast of Gran Canaria. An induced risk?». *Journal of Coastal Research*, nº 48, pp. 77-80.
- MÁYER, P., PÉREZ CHACÓN, E. y ROMERO, L. (2006): «Lluvias e inundaciones en los centros turísticos de Gran Canaria: el caso de San Bartolomé de Tirajana». *Investigaciones Geográficas*, nº 41, pp. 155-173.
- MÁYER, P., MARZOL, M^a.V. y PARREÑO, J.M. (2017): «Precipitation trends and daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain)». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, nº 43, pp. 255-268.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA, 2017)
- OLCINA CANTOS, J. y VERA REBOLLO, F. (2016): «Climate change and tourism policy in Spain: diagnosis in the Spanish Mediterranean coast». *Cuadernos de Turismo*, nº 38, pp. 565-571.
- PASCH, R.J. (1996): *Preliminary report hurricane Tanya*. NOAA.
- PREPCA. (2007): *Plano Regional de Emergencias y Protección Civil de la Región Autónoma de Azores*. Governo dos Açores.
- PROMOTUR. (2017): *Serie histórica del perfil del turista. 2006–2017*. Gobierno de Canarias.
- PROMOTUR. (2018): *Serie histórica del perfil del turista. 2006–2018*. Gobierno de Canarias.
- RIBEIRO, O. (1960): *A ilha do Fogo e as suas erupções*. Junta de investigações do ultramar.

- RODRÍGUEZ-BÁEZ, J., YANES, A. Y DORTA, P. (2017): «Determinación y caracterización de situaciones de temporal marino e inundación costera por rebase del oleaje en San Andrés, NE de Tenerife (1984-2014)». *Investigaciones Geográficas*, nº 68, pp. 95-114.
- ROMERO RUIZ, M.C. (1991): *Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario*. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.
- SECRETARIA REGIONAL DO TURISMO E TRANSPORTES (SRTT). (2010): *Estatísticas do Turismo*, Governo do Madeira.
- SERVIÇO REGIONAL DE ESTATÍSTICA DO AÇORES (SREA). (2018): *Encuesta de turismo. Governo dos Açores*.
- TARIFE, R., HERNÁNDEZ, S., GÁMIZ, S.R., CASTRO, Y. y ESTEBAN, M.J. (2012): «Análisis de los extremos pluviométricos en las islas Canarias y su relación con el índice NAO». *VIII Congreso Internacional Asociación Española de Climatología*. Salamanca.
- THE SMITHSONIAN INSTITUTION'S GLOBAL VOLCANISM PROGRAM (GVP). (2018): *Historic Data Base*. Disponible en: <http://volcano.si.edu>, [consultado: 14 de noviembre 2018]
- THE WORLD BANK (IBRD). (2018). *Data Bank*. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org>, [consultado: 14 de noviembre 2018].
- TORRES, P., MADEIRA, J., SILVA, L.C., BRUM DA SILVEIRA, A., SERRALHEIRO, A. y MOTA, A. (1997): «A erupção vulcânica da ilha do Fogo». Ministerio da Ciência e da tecnologia. Instituto de Investigação Científica Tropical. Lisboa, pp.119-132.
- UNWTO. (2017): *Panorama OMT del turismo internacional*. Organización Mundial del Turismo.
- WALLENSTEIN, N., DUNCAN, A., CHESTER, D. Y MARQUES, R. (2007): «Fogo-volcano (Sao Miguel, Azores): a hazardous edifice». *Géomorphologie*, vol. 13(3), pp. 259-270.
- YANES, A. (2017): «Desastres naturales en Canarias. La costa como espacio de riesgo en Tenerife», *SÉMATA*, vol. 29, pp. 67-89.

II.1.4. Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain)



Autores/as: **Abel López Díez**, Pablo Máyer Suárez, Jaime Díaz Pacheco, Pedro Dorta Antequera

DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos10120809>

CITA: López Díez, A.; Máyer Suárez, P.; Díaz Pacheco, J.; Dorta Antequera, P. Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain). Atmosphere 2019, 10, 809.

Factor de impacto (2018):

JCR: 2,046 Q2

SJR: 0,625 Q2

SCOPUS: 2,27

ISSN: 20734433

Código QR para acceso:





Article

Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain)

Abel López Díez ¹ , Pablo Máyer Suárez ^{2,*}, Jaime Díaz Pacheco ¹  and Pedro Dorta Antequera ¹

¹ University of La Laguna (ULL), 38320 San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, Spain; alopezd@ull.edu.es (A.L.D.); jdiazpac@ull.edu.es (J.D.P.); pdorta@ull.edu.es (P.D.A.)

² Physical Geography and Environment Group, Institute of Oceanography and Global Change (IOCAG), University of Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35214 Telde, Gran Canaria, Spain

* Correspondence: pablo.mayer@ulpgc.es

Received: 19 November 2019; Accepted: 11 December 2019; Published: 13 December 2019



Abstract: Coastal spaces exploited for tourism tend to be developed rapidly and with a desire to maximise profit, leading to diverse environmental problems, including flooding. As the origin of flood events is usually associated with intense precipitation episodes, this study considers the general rainfall characteristics of tourist resorts in two islands of the Canary Archipelago (Spain). Days of intense rainfall were determined using the 99th percentile (99p) of 8 daily precipitation data series. In addition, the weather types that generated these episodes were identified, the best-fitting distribution functions were determined to allow calculation of probable maximum daily precipitation for different return periods, and the territorial and economic consequences of flood events were analysed. The results show highly irregular rainfall, with 99p values ranging 50–80 mm. The weather types associated with 49 days of flooding events were predominantly cyclonic and hybrid cyclonic. The Log Pearson III distribution function best fitted the data series, with a strong likelihood in a 100-year return period of rainfall exceeding 100 mm in a 24 h period. However, values below 30 mm have already resulted in significant flood damage, while intense rainfall events in the period 1998–2016 saw over 11.5 million euros paid out in damages for insured goods. Such flood-induced damages were found to be caused more by inadequate urban planning than by rainfall intensity.

Keywords: intense rainfall; floods; tourism; weather types; Canary Islands

1. Introduction

Numerous research studies have investigated the role of meteorological conditions when deciding upon a site for a tourist establishment. It is clear from these studies that although weather conditions are a fundamental consideration when determining the site for a new tourist establishment, on many occasions no assessment is made of the possibility of the occurrence of extreme weather events nor of their potential consequences [1–3]. Various works simply treat the risk of flooding as an emergency episode which needs to be properly managed, without considering territorial planning as an element of prevention [4]. In general terms, it has been found that tourist developments cause substantial changes to the territory as the result of land use modifications. In this respect, a ‘sun and beach’ type tourist development that has been inappropriately planned will have negative impacts on the coastal environment [1,5–7], and, consequently, on the quality of the tourism offer.

An extensive number of studies have also been published, from various perspectives and considering all corners of the globe, on the effects of extreme rainfall in consolidated urban spaces, especially with respect to the generation of flooded areas. However, there are relatively few studies which have tackled this issue with respect to coastal tourist areas. Moreover, most of these have focussed on assessing the flooding processes that may arise as the result of sea level rise in a context

of global climate change, with discussions on the possible measures that should be taken along the coastline (protective measures and modifications to infrastructure and equipment, etc.) to counter rough sea weather [8,9].

Other aspects that have been dealt with in the literature include the natural fragility of islands and their special vulnerability in the face of climate change [10,11]. As a result, the managers of tourist establishments find themselves obliged to work in this respect on adaptation measures. In this context, one of the objectives of the EU's Strategy on Adaptation to Climate Change [12] is to promote such adaptation in vulnerable sectors. Further details in this respect are explored in Spain's III Work Programme—2014/2020 in the National Climate Change Adaptation Plan [13], which determines the need to establish regionalised climate change scenarios specifically for islands which contemplate, among other questions, strategies for coastal adaptation to counter the effects of climate change.

Again, there are very few studies with specific reference to Spain which have analysed flood risk management in coastal tourist areas. Of those that have been published, perhaps the most noteworthy have considered the case of Spain's Levante coast, underlining the need for cooperation between different administrations in an environment which has experienced intensive tourist development in both time and form [6,14–16].

Finally, it is important to stress that floods can result in a loss of competitiveness in tourist destinations as the result of safety guarantees at such places being put in doubt. This is one more reason why the risk of such events needs to be reduced and tourist destinations subjected to appropriate planning ordinances [17]. Along these lines, the present study aims to contribute to the field of tourism climatology through an analysis and discussion of floods and flooding in the Canary Islands (Spain), one of the world's most tourism-dominated archipelagos. Given that, in the meteorological context of the Canary Islands, these floods are caused by episodes of intense rainfall, the main objectives of this research study have been as follows: (i) to characterise rainfall, especially in terms of its risk factors; (ii) to find and select intense rainfall episodes; (iii) to identify the weather types that have generated these episodes; (iv) to determine the distribution function of extreme variables that best fits the series of daily rainfall in order to establish the probable maximum precipitation values for different return periods; and (v) to assess the socioeconomic and territorial impact of extreme rainfall episodes on the selected tourist spaces. This latter assessment is a fundamental objective of the research work in view of the fact that, as explained in greater detail below, these spaces are the economic engine of this archipelago.

2. Context and Sphere of Study

In 2017, according to data from the United Nations World Tourism Organisation (UNWTO) [18], Spain welcomed 81.8 million tourists, more than any other country in the world except France (86.9 million), and was also second in terms of income from tourism (€58,620 million). After Catalonia, the autonomous region of Spain which received most visitors was the Canary Islands. According to data published by the Canary Institute of Statistics [19], a total of 15,559,788 tourists visited the islands in 2018 (including tourists both from other countries and from other autonomous regions of Spain), a value similar to the three preceding years. It should also be noted that, in terms of its economic impact, tourism in the Canary Islands is responsible for 30% of Gross Domestic Product (GDP), 40% of employment, and 35% of all taxes collected [20]. In Spain, similar percentages are only found for the Balearic Islands [21]. Of all the tourists who visited the islands, 67% went to Tenerife or Gran Canaria, with most of them staying in the tourist resorts of the south and south-west of the two islands. That is, more than half the visitors to the islands stayed in areas which were selected as study areas for the purposes of the present work (Figure 1), namely the tourist centres situated in the municipalities of Arona and Adeje in Tenerife and San Bartolomé de Tirajana and Mogán in Gran Canaria (Figure 1). In total, these four spaces only occupy 27.7 km² and their urban development is concentrated between the coast and a height of 180 m above sea level. These spaces are among the highest in terms of annual hours of sunshine and the lowest in terms of rainfall, not only in the Canary

Islands but across the whole of Spain. It is, of course, precisely these climate conditions that are so attractive for European tourism.

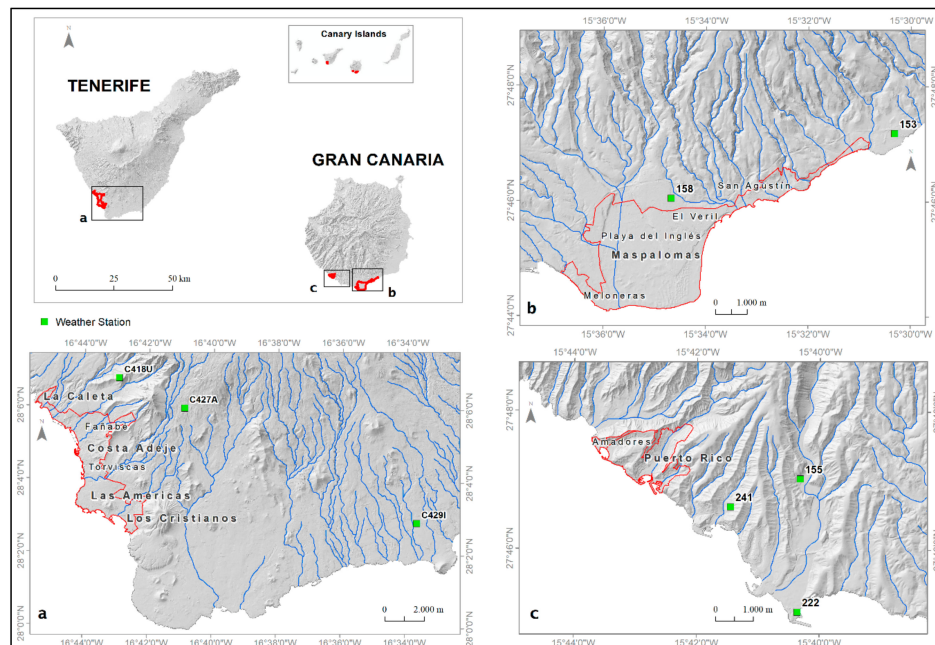


Figure 1. Location of the study areas in the islands of Tenerife and Gran Canaria, and location of the weather stations employed. (a) South Tenerife; (b) South Gran Canaria; (c) Southwest Gran Canaria.

3. Data and Methodology

3.1. Statistical Analysis of the General Characteristics of the Rainfall

Two data series were used for statistical analysis of the general characteristics of the rainfall in the two study areas. The first series (i) was recorded with the rain gauge of a weather station belonging to the State Meteorological Agency (Spanish initials: AEMET) situated at Reina Sofía international airport (C429I-Tenerife Sur) at a height above sea level of 64 m. Daily data were obtained for the period 1981–2018 and hourly data for the period between October 1997 and December 2018. The daily series had no data missing but the hourly series did have some records missing in some months in the 2000–2005 period. The second series (ii) is that of the El Berriel (153-Berriel) part of the rain gauge network of the Gran Canaria Island Water Board (Spanish initials: CIAGC). It is situated in the south of Gran Canaria island at a height of 15 m above sea level and has continuous uninterrupted records for the period 1951–2018.

Various homogeneity tests were applied to both series, as have also been performed by other authors for the Macaronesia region [22]. For this, the standard normal homogeneity test (SNHT) [23], the Pettitt test [24], the Buishand range test, and the Von Neumann ratio test [25] were used. The C429I-Tenerife Sur series passed all four tests, demonstrating its homogeneity, but the 153-Berriel series displayed a certain discontinuity in its first years. This was due to climate causes, with the first years of the decade of the 1950s being an exceptional period of abundant episodes of rainfall in the Canary precipitation context [26,27].

3.2. Identification of Episodes of Extreme Precipitation (Meteorological Records)

In addition to the two series described above, data from a further eight weather stations were used for the selection of intense rainfall episodes. Five of these are situated on the island of Gran Canaria and form part of the CIAGC rain gauge network, and three are on Tenerife island and form part of the AEMET network. The Gran Canaria series are continuous and have no records missing but the Tenerife series have a number of gaps in the record for various months. Despite this shortcoming, the sole aim with these series was to select the most intensive rainfall episodes in the two study areas. It should be noted that it was decided to discard use of the Adeje (C-418U) rain gauge series despite its being the closest to the study area, as it contained the lowest number of data (its use was discontinued in 2007) and there were several gaps in the record. It was decided instead to use data from the Arona rain gauge (C427A), despite its higher altitude (670 m). Table 1 shows the data series that were used, their location, the start and end points of the series, and the total number of complete years of data. The intense rainfall episodes were distinguished using the 99th percentile of the daily rainfall data of the eight aforementioned series.

Table 1. Location, altitude, and time period of the rainfall series used in Tenerife (Tfe) and Gran Canaria (Gc).

Station	Island	Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude (m)	Start	End	Complete Years
C429I-Tenerife Sur	Tfe	27°59'29"	16°41'10"	12	07/1980	2018	37
C418U-Adeje	Tfe	28°06'40"	16°42'59"	266	04/1944	08/2007	25
C427A-Arona	Tfe	28°05'51"	16°40'57"	670	11/1971	2018	30
153-Berriél	Gc	27°47'05"	15°30'29"	15	09/1951	2018	67
155-San José de Arguineguín	Gc	27°47'02"	15°40'19"	49	09/1949	2018	69
158-Maspalomas	Gc	27°46'01"	15°34'41"	68	09/1949	2018	69
222-Arguineguín	Gc	27°45'07"	15°40'23"	31	09/1949	2018	69
241-La Verga	Gc	27°46'37"	15°41'28"	44	09/1949	2018	69

3.3. Classification of Circulation Weather Types during the Extreme Rainfall Episodes

After pinpointing the extreme rainfall episodes in the meteorological records, a classification was made of the weather type using an objective classification scheme based on circulation indices, as initially developed for the British Isles by Jenkinson and Collison [28], and, subsequently, Jones et al. [29] with a view to automatically reproducing the subjective classification of Lamb [30].

This method has been applied to many regions and with many different objectives, especially in Europe where there are examples from the Iberian Peninsula [31–34], Sweden [35,36], Scandinavia [37], Estonia [38], and the southwestern region of Russia [39]. It has also been employed in other regions such as Chile [40]. The classification is based on the use of a set of indices associated with the direction and vorticity of geostrophic flow. The indices used are as follows: westerly flow (WF), southerly flow (SF), total flow (F), westerly shear vorticity (ZW), southerly shear vorticity (ZS), and total shear vorticity (Z). These indices were calculated using the sea level pressure values obtained from the database Daily Northern Hemisphere Sea Level Pressure Grids [41] for the 16 grid points shown in Figure 2. This grid corresponds to an area defined from 40° N to 20° N and from 25° W to 10° W, with a resolution of 5°. The analytical expressions used for the Canary Islands are shown in Figure 2.

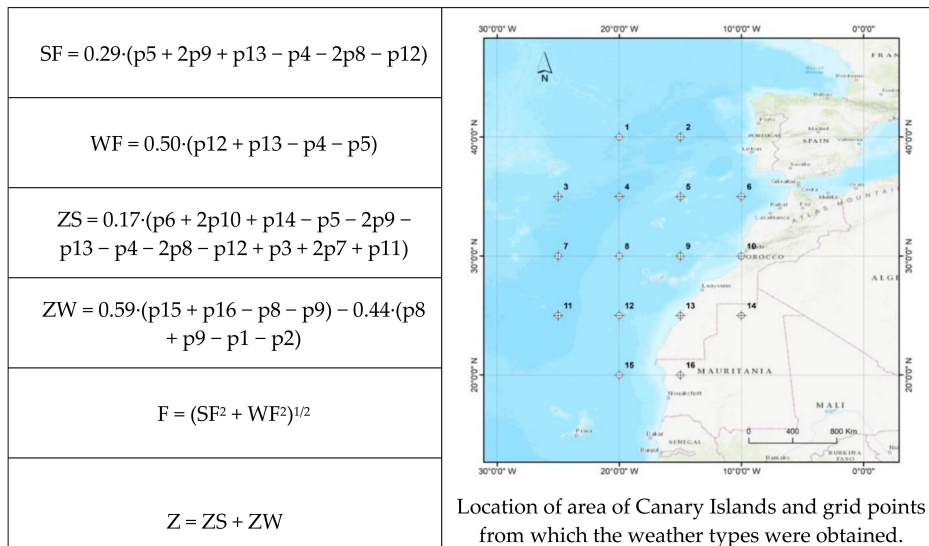


Figure 2. Equations for the calculation of circulation weather types according to Jenkinson and Collinson [28] and location of grid points centred around the Canary Archipelago for the calculation of flow (SF, WF) and vorticity (ZS, ZW). Legend: WF, westerly flow; SF, southerly flow; F, total flow; ZW, westerly shear vorticity; ZS, southerly shear vorticity; Z, total shear vorticity.

Definition of the type of circulation was determined in accordance with the following considerations:

1. Flow direction is obtained from $\tan^{-1}(WF/WS)$, (an 8-point wind rose is used, and the sign of WF and WS is taken into account).
2. If $|Z| < F$ then flow is essentially a pure directional type, defined according to the following directions (N, NE, E, SE, S, SW, W, and NW).
3. If $|Z| > 2F$ then flow is a pure cyclonic type (C) if $Z > 0$, or anticyclonic (A) if $Z < 0$.
4. If $F < |Z| < 2F$ then flow is a hybrid type, depending on the sign of Z (rule 3) and the flow direction (rule 2) (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW, and ANW).
5. If both F and $|Z|$ have a value below 6, then flow type is defined as unclassified (U).

Thus, there are 27 weather types: anticyclonic (A), cyclonic (C), eight types according to geostrophic directional flow, another 16 hybrid (cyclonic or anticyclonic) types, and, finally, those which it was been possible to classify (U).

3.4. Determination of the Distribution Functions Which Best Fit the Rainfall Data Series

The free software programme HYDROGNOMON (Version 4.1.0(.26)) was used to find the distribution function of extreme variables which best fits the two data series of daily rainfall. This is a programme that was specifically developed for the analysis and processing of hydrological series by the ITIA research group of the National Technical University of Athens [42]. Among the various applications in the software programme are the fitting of distribution functions and extreme variables, with multiple options including non-parametric (Weibull) and parametric methods (Normal, LogNormal, Pearson III, LogPearson III, Gumbel (EV1), GEV-Max, Pareto, Gamma, and Exponential). The programme also allows the application of parameter estimation methods, including the method of moments, the maximum likelihood method, and the linear moments or probability-weighted moments method (L-Moments). Thus, a total of 27 distribution functions were able to be applied to the different rainfall time series. To determine the best fitting function, the programme allows the Chi-squared and

the Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit tests to be performed. After selection of this function, the probable maximum 24 h precipitation values for return periods of 25, 50 and 100 years were calculated.

3.5. Determination of the Socioeconomic and Territorial Consequences of Extreme Rainfall Episodes

After identifying the days of extreme rainfall, the economic and territorial consequences for the various tourist developments affected were determined. This was achieved by consulting two documentary sources. The first of these was the database of the Insurance Compensation Consortium (Spanish initials: CCS) of Spain, who provided records of flood damage compensation payments for the period 1998–2016. It should be noted that this Consortium provides compensation payments for those affected by damage caused by natural phenomena or as the result of political or social events on the condition that the people or goods affected have insurance cover. Thus, the database provided contains the amount of each loss, distinguishing between shops and warehouses, dwellings and owners' associations, industrial goods, and vehicles. The Organic Law 3/2018, of December 5, on the Protection of Personal Data and the Guarantee of Digital Rights, prohibits the Consortium from supplying the names or postal addresses of affected entities or individuals, and so the database identifies each case by postcode, population centre, and municipality. By combining these three elements, each case can be assigned to an area whose size will essentially depend on the surface area covered by the particular postcode. The second type of documentary evidence was obtained by consulting all the newspapers that were published on the two islands on the day before and the days after the selected rainfall event. This was done with the aim of determining the precise locations of the floods, which are occasionally directly referred to in different news articles, and to obtain a general idea of the impact that the event generated in the press [43]. The following newspapers were consulted: *El Día*, *Diario de Avisos*, *La Gaceta de Canarias*, *La Tribuna de Canarias*, *La Provincia*, *El Eco de Canarias*, and *Canarias 7*. Some of these newspapers began publishing prior to the starting date of some of the rainfall data series (the end of the 1940s). However, as no tourist buildings or infrastructure (properly speaking) were constructed until the 1960s, there were no news articles on the impact of intense rainfall events on them published before that decade [44,45].

In this way, it was possible to relate days of intense rainfall identified through the historical rainfall data records with the consequences or damages incurred in the study areas, including the flooding of specific areas or streets and residential, tourist, or commercial buildings, the precise location of collapsed rainwater drainage systems, and the impact on beaches or bathing areas, etc.

4. Results

4.1. General Characteristics of the Rainfall

Rainfall characteristics in the Canary Islands derive from a combination of the general atmospheric circulation and local geographic conditions [46,47]. With regard to the first factor, the possibility of rainfall depends on the presence and behaviour of the anticyclone known as the Azores High. Only when it withdraws from the synoptic space of the Canary Islands is the occurrence of temperate zone disturbances, whose fronts can bring significant precipitations to the archipelago, possible. At the same time, the orientation and altitude of the terrain or relief on each island, together with their latitudinal position, result in significant differences in the number, severity, and spatial distribution of precipitation [48,49].

In general lines, the orientation of the relief sets apart two contrasting climate regions on both Gran Canaria and Tenerife. The northern windward slopes are characterised by abundant clouds, high relative humidity, and a temperate character, whereas the southern leeward zones are dry, sunny, and warmer. Altitude also plays an important role, with the coastal regions relatively warm with little rainfall, the mid-altitude areas temperate and with more abundant rainfall which is more irregular in the south than the north, and the highest areas of the islands cold and with few and markedly irregular precipitations [48]. In the particular case of Tenerife, the stratovolcano of Teide (3715 m) along

with the Cañadas edifice and the Pedro Gil ridge allow a clear differentiation between the northern (windward) and southwestern (leeward) slopes, with our study area found on the south-facing slope below 200 m and displaying features of considerable dryness and very scarce rainfall. These features are also apparent on the lower southern slopes of Gran Canaria, which explains the high similarity in the results of the statistical analysis of the two selected rainfall data series C429I-Tenerife Sur and 153-Berriel. Given this similarity, it was decided to only show the results of the C429I-Tenerife/Sur weather station as this forms part of the AEMET network, an extremely reliable data source and the only one that can be analysed on the basis of hourly data records.

As mentioned above, the absence of rain is one of the main meteorological characteristics of these sectors, and, at the same time, is one of the main reasons why these sectors are particularly ideal for the development of the so-called ‘sun and beach’ type of tourism. This can be seen in the fact that of the 13,878 days of records from the C429I-Tenerife Sur station (1981–2018) rainfall only occurred on 879 days (barely 6% of the total number of days). The annual mean precipitation of 123.6 mm fell on an average of just 23 days a year. Interestingly, in the south of Tenerife, the annual percentage of more than 31 days without rainfall is 71%, a value similar to that of the easternmost islands of the archipelago [48] and that of the southern sector of Gran Canaria (the records of the El Berriel station show dry sequences lasting more than a month, amounting to a percentage as high as 76%). The longest sequence of consecutive dry days with no rain in the south of Tenerife was 215 days (from 20 March 1987 to 21 October 1987), and almost a whole year in the case of the south of Gran Canaria (348 days from 20 April 2011 to 1 April 2012). An analysis of the percentage of dry episodes according to their duration shows that 80% are sequences which last less than a month, 11% last two months, and 3% three months and six months (Figure 3a). By contrast, the analysis of rainy spells shows a high probability of rain falling on just one day (60%), while two-day-long episodes correspond to 20% and rainy periods of 6 days or longer only 2% (Figure 3b). As pointed out by Máyer and Marzol [50], the frequency of one-day-long rainy spells is notably higher in the easternmost islands of the archipelago and in the coastal and low altitude sectors of the other islands. Moreover, the amount of water accumulated in these one-day periods—as a percentage of the total amount of rainfall—is also highly significant, with this being a value of 23% in the case of Reina Sofía airport (a value similar to sites in the south of the easternmost islands of the archipelago).

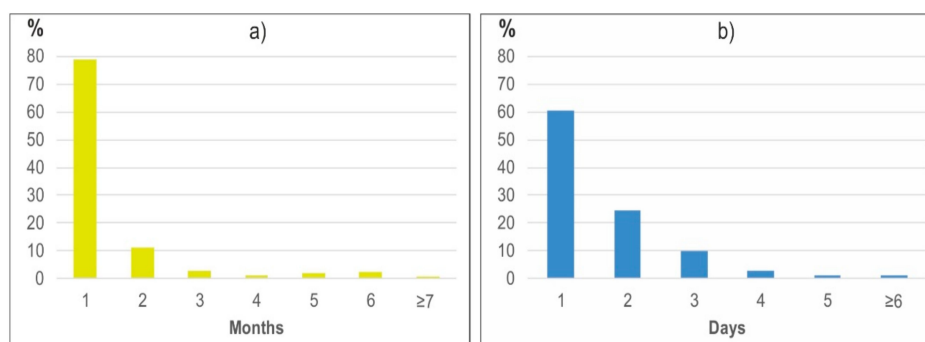


Figure 3. Frequency of the duration of dry spells (a) and rainfall episodes (b). Source: State Meteorological Agency (Spanish initials: AEMET).

With respect to the interannual variability of rainfall, it should be noted that a 90% confidence level in the mean value of the series would require an amplitude of 106 years, which would extend to 150 years for a 95% confidence level. In addition, the coefficient of variation displays exceptionally high values of 63% (Table 2), while the consecutive disparity index [51] is 0.72. Both values are higher than those obtained for sites of greater rainfall irregularity in the Iberia peninsula [52]. As can be seen

in Figure 4, it is normal that a dry year (1982) is followed by a rainy or very rainy (1983) year, or that a dry period is followed by a rainy one.

Table 2. Characteristics of monthly and annual precipitation in Reina Sofía airport in the south of Tenerife (1981–2018). Source: AEMET.

Month	Mean	Median	SD ¹	CV ²	Monthly Max	Year	Daily Max	Year	Freq. Days/Year ³	Max. Freq. Days/Year ⁴
Jan	14.9	2.3	25.9	174.2	135.2	2006	46.2	2007	11.3	13.2
Feb	19.0	9.4	26.5	139.5	115	2005	61.0	1996	15.0	18.4
Mar	12.7	3.8	21.8	171.7	101.2	1993	53.2	1993	10.6	10.5
Apr	7.2	1.85	10.2	142.4	35.6	1997	20.4	1982	8.6	5.3
May	0.9	0	2.0	226.9	8.4	2004	6.8	2006	2.7	0.0
Jun	0.1	0	0.3	416.0	1.9	1993	1.0	1993	0.7	0.0
Jul	0.0	0	0.2	616.4	1.5	1983	1.5	1982	0.1	0.0
Aug	1.2	0	5.2	428.8	31	2005	18.5	2005	1.3	0.0
Sep	3.0	0.2	5.2	173.2	19.2	1990	13.7	1990	5.0	0.0
Oct	13.3	6.4	17.9	134.6	65.4	2006	47.0	1989	13.0	10.5
Nov	22.5	6.3	40.7	180.4	212.8	1983	136.0	1983	13.2	21.1
Dec	28.8	11.5	40.8	141.6	176.7	2013	109.0	2013	18.5	21.1
Year	123.6	101.1	78.3	63.3	348.2	2006			100.0	100.0

¹ Standard deviation. ² Coefficient of variation. ³ Percentage of rainy days. ⁴ Maximum precipitation value in a 24 h period. Source: AEMET.

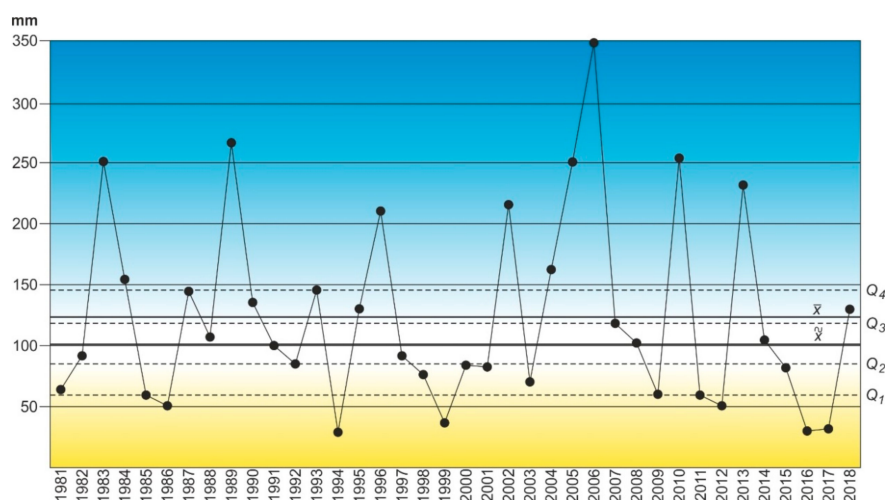


Figure 4. Total annual precipitation in Reina Sofía airport in the south of Tenerife (1981–2018). Q_1 , Q_2 , Q_3 and Q_4 are the values of the percentiles which divide these series into 5 equal parts and allow differentiation between very dry years ($\leq Q_1$), dry years ($> Q_1$ and $\leq Q_2$), normal years ($> Q_2$ and $\leq Q_3$), rainy years ($> Q_3$ and $\leq Q_4$) and very rainy years ($> Q_4$). Source: AEMET.

December, which is one of the months with the highest number of tourist visitors to the island, is usually the rainiest month in the south-facing coastal areas and generally has the highest number of days of rainfall and the rainiest day of the year [53] (Table 2). Another distinguishing feature of the rainfall is its torrential nature. Considering only the 6 months in which 96% of the rainfall is concentrated (October to April), on occasions the mean value is exceeded by as high as a factor of 9. This is the case of January of 2006 (135.2 mm versus a mean value of 14.9 mm), November of 1983 (212.8 mm versus a mean of 22.5 mm), and December of 2013 (176.7 mm versus a mean value of 28.8 mm).

The amount of water that fell on the rainiest day of each year was usually more than 15% of each year’s total rainfall. In fact, in 25 of the 38 years of the series (66%), the rainiest day saw the accumulation of between 20% and 40% of the year’s total rainfall. Extreme examples can be found

in 1983 and 1994, when the maximum rainfall in one 24 h period corresponded to almost 50% of all the rainfall accumulated over the whole year. If the analysis is made for monthly totals, the daily maximum is generally more than 60% of the month's total rainfall. In 7 years of the series (almost 20%), the rain that fell on the rainiest day of the year corresponded to more than 80% of all the rainfall for the corresponding month. All of the above examples show the importance of cloudbursts that are associated with the fronts of disturbances that affect this area of the island and which considerably increase the annual and monthly rainfall totals.

The analysis of the intensity of daily rainfall showed it to be weak or very weak, as 85% of the days with rain generally had values of between 0.1 and 9.9 mm. However, the significant value of the daily precipitation concentration index [54], 0.69, indicates that 25% of the rainiest days contributed to more than 80% of the rainfall. It should also be noted that the maximum amount of rain recorded on a single day was 136.0 mm (19/11/1983).

Hourly precipitation data for Reina Sofía airport were available for analysis for the period from 28 September 1997 to 31 December 2018. However, there are various gaps in the records; there are days when rain fell but for which no hourly records are available (474 days when the hourly record was complete and 48 when there were technical problems and no hourly records were kept). These technical problems affected days of some months in the 2000–2005 period. Despite this drawback, it is interesting to see the hourly precipitation behaviour with a view to establishing a relationship between the duration of the precipitation and the reference data of floods in the study area, as well as for a detailed analysis of the most significant rainfall episodes.

In this respect, it can be deduced from the hourly precipitation analysis that the most common precipitation event is of a single hour's duration (35%), followed by 2 and 3 h (21% and 12%, respectively). That is, as can be seen in Figure 5, when it rains in the south of Tenerife, it tends to do so with a duration of between 1 and 3 h (69%).

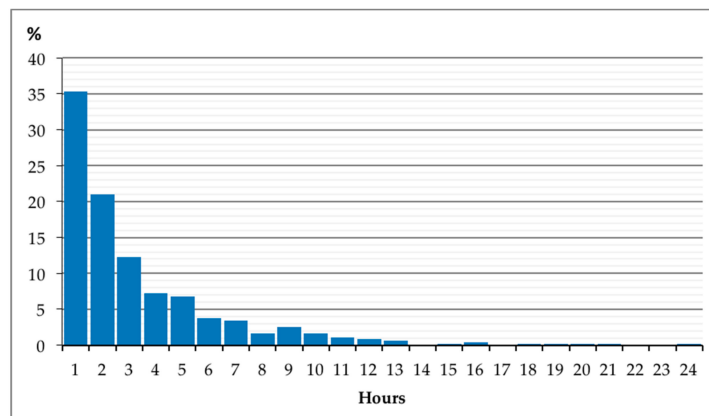


Figure 5. Hourly rainfall frequency in Reina Sofía airport in the south of Tenerife (1997–2018). Source: AEMET.

4.2. Identification of Extreme Rainfall Episodes and Associated Weather Types

As indicated in the methodology, the selection of intense rainfall episodes was made using the 99th percentile of the daily data of the eight selected series. These values are given in Table 3.

A total of 49 days corresponding to 41 rainfall episodes were selected. As can be seen in Table 4, the month with the highest number of days on which the 99th percentile was exceeded is November (17 days), followed by December (11 days), February (8 days), March and October (4 days), January (3 days), April and August (1 day). Most of the selected episodes were in winter (45%), followed by autumn (43%), spring (10%), and summer (2%).

Table 3. Values of the 99th percentile in the different series used.

Series	Percentile 99	Series	Percentile 99
C429I-Tenerife-Sur	47.1	155-San José de Arguineguín	58.7
C418U-Adeje	78.8	158-Maspalomas	50.0
C427A-Arona	65.1	222-Arguineguín	50.7
153-Berriél	58.2	241-La Verga	56.6

Sources: AEMET and Gran Canaria Island Water Board (Spanish initials: CIAGC).

Table 4. Selection of days of rain according to the daily data series considered in this study and weather types (J&C) defined according to the classification of Jenkinson and Collison (1977). The records selected according to the 99th percentile of their respective series are shown in bold.

No.	Date	Tenerife				Gran Canaria				J&C
		C429I	C418U	C427A	153	155	158	222	241	
1	28/11/1949	N/A	89.0	N/A	N/A	1.8	N/A	1.2	1.3	S
2	10/11/1950	N/A	N/A	N/A	N/A	60.3	N/A	79.6	92.6	U
3	21/01/1953	N/A	80.0	N/A	0.0	0.0	0.0	2.3	2.6	CNE
4	10/12/1953	N/A	N/A	N/A	36.8	16.5	66.5	15.1	17.6	C
5	22/11/1954	N/A	11.3	N/A	13.4	17.6	37.9	82.0	95.3	U
6	23/11/1954	N/A	0.0	N/A	76	64	79.8	2.0	2.3	NE
7	24/11/1954	N/A	0.0	N/A	53.3	3.8	60.6	43.4	50.5	N
8	25/11/1954	N/A	0.0	N/A	70.4	53.4	35.6	0.0	0.0	N
9	23/10/1955	N/A	N/A	N/A	60.5	14.5	9.5	104.0	120.9	NE
10	24/10/1955	N/A	N/A	N/A	0.0	119.1	116.5	14.5	16.8	N
11	28/11/1957	N/A	N/A	N/A	58.0	0.0	50.3	0.0	0.0	U
12	22/11/1967	N/A	N/A	N/A	58.2	58.6	29	46	56.7	C
13	24/11/1968	N/A	17.1	N/A	26.4	61.2	27	48	60.0	CE
14	31/12/1968	N/A	83.0	N/A	42.8	25.0	40.3	13.8	11.3	C
15	10/02/1971	N/A	8.3	N/A	14.3	17.5	50.3	18	20	U
16	11/02/1971	N/A	3.8	N/A	76.0	32.8	40.4	19	25.8	NE
17	12/02/1971	N/A	0.0	N/A	57.0	80	49.5	36	27.3	C
18	17/12/1972	N/A	0.0	N/A	60.3	48	67.5	36	33.1	N
19	10/04/1977	N/A	N/A	95.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	S
20	19/11/1983	136.0	N/A	N/A	1.6	1.0	0.0	1.0	3.4	NE
21	09/12/1984	7.7	N/A	N/A	126.0	41.8	66.6	60.0	51.0	C
22	16/02/1989	2.3	5.4	16.3	54.3	36.0	46.4	47.0	58.6	CSE
23	24/11/1989	96.5	100.2	91.0	25.5	44.0	47.7	33.0	32.0	CNE
24	17/03/1993	53.2	47.6	63.5	1.8	2.1	1.0	2.5	0.0	CE
25	28/10/1993	9.8	78.8	62.0	25.2	13.7	11.5	20.0	5.3	CSE
26	14/03/1995	3.0	0.6	2.0	14.0	8.8	10.0	53.0	4.2	C
27	13/12/1995	31.9	72.3	67.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	C
28	02/02/1996	61.0	27.0	22.0	39.5	24.2	44.0	36.	20.2	U
29	04/03/1996	29.6	N/A	72.0	18.2	13.0	17.0	16.4	14.0	C
30	07/01/2000	2.8	0.9	17.6	0.0	38.3	63.0	53.0	45.5	CSE
31	11/11/2000	14.0	44.0	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	U
32	19/11/2001	13.5	31.0	39.6	62.0	59.9	50.0	41.0	102.0	C
33	20/11/2001	0.9	0.0	10.0	85.0	60.3	90.5	68.0	28.0	N
34	12/12/2002	39.5	71.0	76.0	8.2	21.7	9.0	8.0	23.0	C
35	16/12/2002	42.1	82.0	97.6	20.1	18.1	17.5	9.0	77.0	NE
36	17/12/2002	4.8	10.0	2.1	86.3	69.8	73.5	47.0	16.5	N
37	19/02/2004	30.3	63.0	94.7	25.3	17.4	21.5	15.0	14.0	C
38	24/02/2005	56.8	20.0	36.1	10.5	11.1	16.0	7.0	9.2	C
39	02/03/2005	17.5	N/A	81.0	8.5	13.7	9.0	11.0	13.8	C
40	18/08/2005	18.5	81.0	57.2	1.3	3.0	0.6	2.0	2.9	N
41	20/12/2005	25.2	55.0	65.2	60.0	67.5	42.0	59.0	66.9	C
42	23/01/2006	26.1	2.4	95.2	70.0	11.5	27.0	25.0	10.9	U
43	28/10/2006	46.1	4.8	48.6	33.0	44.2	11.0	36.0	85.5	CNE
44	01/11/2006	81.2	14.5	28.0	6.2	2.9	2.3	0.0	2.7	CNE
45	29/11/2010	47.5	N/A	54.0	73.3	73.3	75.0	74.0	47.4	CN
46	02/12/2013	32.1	N/A	83.0	3.5	10.5	15.0	1.8	10.2	CSE
47	11/12/2013	109.0	N/A	158.0	29.6	13.2	12.0	12.1	12.2	AN
48	19/11/2014	0.9	N/A	0.0	30.2	61.3	26.0	57.0	49.7	CS
49	25/02/2018	57.2	N/A	30.0	5.1	5.3	16.0	10.0	2.0	CNE

Sources: AEMET and CIAGC. N/A = data not available.

With respect to weather types, according to the analysis of the atmospheric status during the selected days of rain, those classified as pure directional type (28%), cyclonic (29%), and hybrid cyclonic (26%) were the most frequent, followed by unclassified (14%); only one day (2%) was classified as anticyclonic. However, if we consider days on which the thresholds considered were exceeded consecutively (five rainfall episodes), there is a clear prevalence of low-pressure fronts over the islands. Thus, the days 22–25 November of 1954 comprise a single advective-type event of the first quadrant (despite its being categorised on the first day as unclassified). The same is seen for 23–24 October of 1955 and 16–17 December of 2002. The 10–12 December episode of 1971 begins on the first with an unclassified categorisation and is followed by a pure directional type (NE), and on the final day (12 Dec) an area of low pressure settles over the archipelago. Finally, the 19–20 November episode of 2001 was classified as cyclonic on the first day and as a pure directional type (N) on the second; in this case it is considered cyclonic. Table 5 shows the absolute and relative frequencies, considering both days and episodes as previously indicated.

Table 5. Absolute and relative frequencies of weather types of each of the days and episodes selected using the 99th percentile of the series considered.

Weather Type		Absolute Frequency		Relative Frequency (%)	
		Days	Episodes	Days	Episodes
Cyclonic	C	14	14	29	34
Directional type	N	7		14	
	NE	5	8	10	20
	S	2		4	
Hybrid cyclonic	CN	1		2	
	CNE	5		10	
	CE	2	13	4	32
	CS	1		2	
	CSE	4		8	
Hybrid anticyclonic	AN	1	1	2	2
Unclassified	U	7	5	14	12
Total		49	41	100	100

Source: Daily atmospheric pressure data were obtained from the Daily Northern Hemisphere Sea Level Pressure Grids [41].

4.3. Selection of the Distribution Function Which Best Fits the Rainfall Data

As indicated in the methodology, with a view to determining the probability of extreme precipitation values for different return periods, it is of interest to know the distribution function which best fits the daily and hourly data of the series selected for statistical analysis. However, it should be noted that the low number of daily and hourly data of the C429I-Tenerife Sur series would make these results poorly representative. It was therefore decided not to apply these functions to the hourly data as they are only available for the periods 1998–1999 and 2016–2018 (only 17 years), whereas the 153-Berriel series contains 67 years of data.

Table 6 shows the three functions which gave the best results in both the Chi-squared and Kolmogorov Smirnov tests for the El Berriel series. Figure 6 shows, in turn, a visual analysis of the results obtained of the selected functions using the statistical criterion of goodness-of-fit. In this way, it was possible to select the function which best fits the data, and, therefore, preferentially consider it for the estimation of rainfall for diverse return periods. In this figure, it can be seen that the function which best fits the data of both series is the Log Pearson III. In addition, the results of maximum daily precipitation probability were obtained for each of the functions (Table 7).

Table 6. Distribution functions which best fit the data records.

153-El Berriel	C429I-Tenerife-Sur
Chi-Squared Test	Chi-Squared Test
1. L-Moments GEV-Max (kappa specified)	Log Normal
2. Exponential	Log Pearson III
3. Log Pearson III	GEV-Max L-Moments
Kolmogorov-Smirnov Test	Kolmogorov-Smirnov Test
1. GEV-Min L-Moments	Pareto L-Moments
2. Log Pearson III	GEV Min L-Moments
3. L-Moments GEV-Max (kappa specified)	Exponential

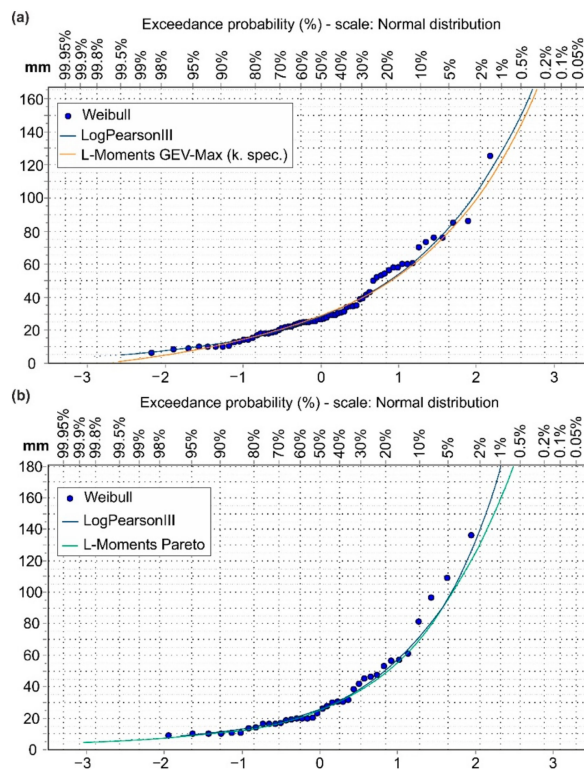


Figure 6. Graphical representation with the different functions which best fit the 24 h maximum precipitation values in the 153-Berriel (a) and C429I-Tenerife Sur (b) series.

Table 7. Maximum daily precipitation probabilities according to the distribution functions.

Function	25	50	100
153-El Berriel			
Log Pearson III	88.1	107.4	111.1
L-Moments GEV-Max (kappa specified)	84.5	102.7	122.6
Exponential	85.8	101.9	117.9
L-Moments (GEV-Min)	85.9	100.6	114.9
C429I-Tenerife-Sur			
Log Pearson III	105.3	138.9	179.9
L-Moments Pareto	103.5	130.4	160.0
L-Moments GEV-Max	99.9	131.7	171.4
L-Moments GEV-Min	104.5	128.9	154.1
Log Normal	96.5	120.2	146.4

4.4. Determination of the Consequences of Extreme Precipitation Episodes

There are 25 dates for which the 99th percentile of the Tenerife series was found to be equalled or exceeded, and 28 for the series of Gran Canaria. On only four days was the 99th percentile exceeded in one or more series of the two islands (Table 4), which demonstrates the very local character of torrential rains in the islands [49,55]. Only particular isolated situations of high-level depressions and low-pressure areas with highly active surface fronts which penetrate the islands through the S and SW are able to affect with a high degree of intensity all the slopes of the islands with the same orientations. On the other hand, as previously mentioned, the tourist development that has taken place in the study areas began in the 1960s and it is therefore unsurprising that there are no significant references in the press to flood damage in the areas under consideration before 1980. In the case of the island of Tenerife, the first news of flood damage in the study area was published on 19 November 1983 in relation to the 136.0 mm of rainfall that fell on Reina Sofia airport. Including that day and up until 2018, there are a total of 21 days when the 99th percentile of the Tenerife series was equalled or exceeded (Table 4). For all of these dates except five, news articles were published about problems caused by rainfall to tourist centres, as well as other nearby residential areas, in the south of Tenerife. With respect to Gran Canaria, the first journalistic record of weather-related damage to tourist infrastructure was the result of the rains of 9 December 1984—when 126.0 mm was recorded at El Berriel—with multiple references in the press to flood damage to hotels, apartments, and main roads in Maspalomas and Playa del Inglés. Including that day and up until 2018, there were a total of 13 days when the 99th percentile of the Gran Canaria series was equalled or exceeded (Table 4). In all cases except three, multiple incidents of damage were reported in the press to tourist establishments in San Agustín, Maspalomas, Playa del Inglés, Puerto Rico, and Amadores.

Flooding of Roads/Streets, Infrastructure, and Tourist Buildings

With respect to the consequences of these rains for the main roads which connect these tourist areas to other areas and important infrastructure like the airports on the islands, the most important are the disruptions to the circulation of traffic as the result of materials eroded by runoff water and transported from the slopes and inclines down onto the roads, as well as landslides and flooding caused by blockages of viaducts constructed over the ravines. In the case of Tenerife, such effects are repeatedly observed on the main route to the airport, the TF-1 motorway, as it passes by Costa Adeje. Problems are also frequently found on this motorway in the area close to Torviscas (Figure 7a). Photos and reports of flooding of the road that connects Los Cristianos with Playa de Las Américas are also repeatedly seen in the press, as well as other roads that are shown covered with stones, rocks, mud, and other materials swept down from the ravines and slopes. Equally serious consequences are commonly reported for the GC-500 dual carriageway, which serves as the communication axis for the various tourist resorts of San Agustín, Playa del Inglés, Maspalomas, Puerto Rico, and Amadores, as

well as roads and streets in the resorts themselves which are flooded for the same reasons as explained above and become unpassable.

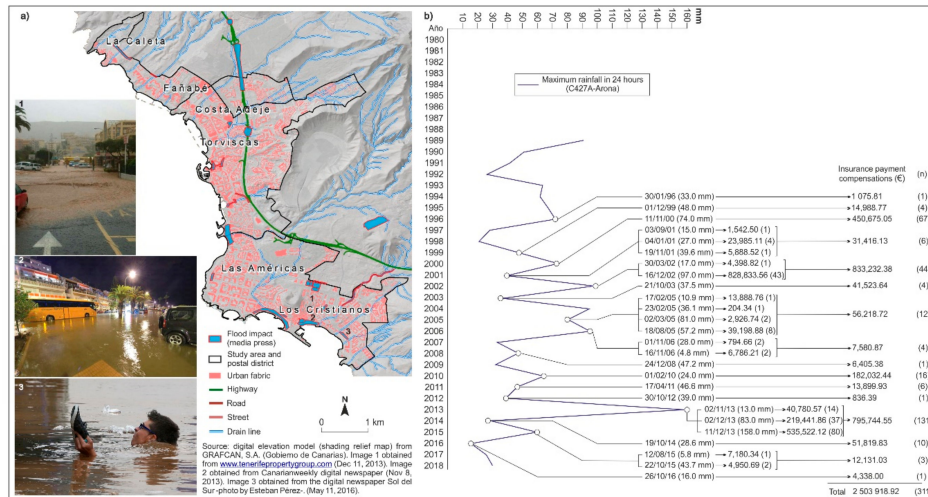


Figure 7. (a) Map showing the position of flooded areas in the tourist resorts of Playa de Las Américas and Los Cristianos situated in the municipalities of Arona and Adeje (Tenerife) between 1980 and 2018 and (b) compensations paid by the Insurance Compensation Consortium (Spanish initials: CCS) for the various losses that took place between 1996 and 2016.

With respect to the effects of these rainfalls on buildings and, in general, tourist establishments and shopping centres, the press, not always accurately, has reported flooding due to overflows of the natural courses of the ravines and of the flumes intended to carry away rainwater in the different ravines which cross the urban areas. In addition, it is common to find reports of the incapacity of the sewage network to transport the extra rainwater that enters the network. In these cases, the wastewater and rainwater break through the covers and drains situated in the ground floors of the buildings, causing flooding. Some hotels and apartments have one or more floors below street level but no pump system to remove the water and are flooded by the high levels of rainwater which flow down the streets and progressively accumulate in flatter areas.

As for the economic consequences associated with the floods in all the study areas that are considered in the present work, a total of €12,416,806.86 was paid out for 1032 incident claims based solely on data supplied by the CCS for the 1998–2016 period. In Tenerife (Figure 7b), a total of €2.5 million was paid out for 313 approved claims. The most expensive rainfall episode was that of 16–17 December of 2002 with €0.8 million paid out for 43 claims, while the second most serious was on 11 December 2013, with €0.5 million paid out for 80 claims. However, the areas with the highest compensation payments are in Gran Canaria, specifically in the tourist resorts of San Bartolomé de Tirajana (San Agustín, Playa del Inglés, and Maspalomas), where €6.8 million were paid out for a total of 495 approved insurance claims. The most severe economic consequences were the result of the 19–20 November rainfall episode of 2001, for which 302 insurance claims were approved for losses which amounted to €4.5 million. This was followed by the storm of 7 January 2000 which left losses of insured goods amounting to €1.4 million for 109 claims (Figure 8b). The municipality of Mogán and its tourist centres (Puerto Rico and Amadores) have seen more than €3.1 million paid out for 226 insurance claims. The worst rainfall episode for this municipality in terms of economic consequences was that of 20 December 2001, as a result of which more than €1.8 million was paid out for a total of 136 claims. This was followed by the 16–17 December episode of 2002, which resulted in compensation payments of €1.1 million for 53 claims (Figure 9b).

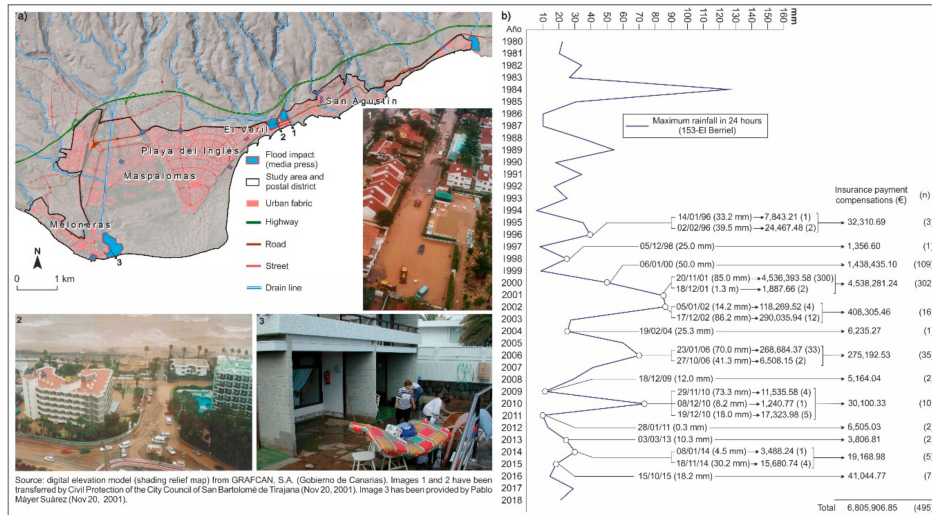


Figure 8. (a) Map showing the position of flooded areas in the tourist resorts of San Agustín, Playa del Inglés, and Maspalomas in the municipality of San Bartolomé de Tirajana (Gran Canaria) between 1980 and 2018 and (b) compensation payments made by the CCS for the different incidents that took place between 1996 and 2016.

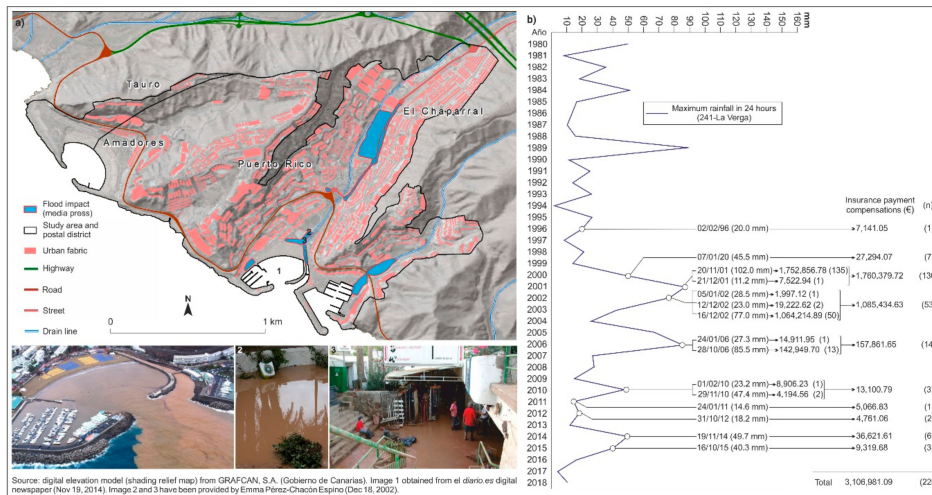


Figure 9. (a) Map showing the position of flooded areas in the tourist resorts of Puerto Rico and Amadores in the municipality of Mogán (Gran Canaria) between 1980 and 2018 and (b) compensation payments made by the CCS for the different losses that took place between 1996 and 2016.

Although these amounts may not seem overly excessive when speaking of a period of 18 years, it should be remembered that the CCS compensation payments are only an indicator to which have to be added the cost of other mechanisms used to re-establish interrupted economic activities, as well as the loss of income experienced by many indirectly affected businesses and services until the status quo is restored.

Importantly, the episodes of heavy damage occur with the same irregularity as the extreme rainfall episodes in the study area, with the result that very few events are responsible for significant amounts of damage. This is evidenced by the occurrence of three intense rainfall events at the beginning of the

twenty-first century which had serious consequences for the tourist industry. These incidents acted as a wake-up call to the authorities about the seriousness of the potential material and physical damage due to the risk of flooding and the important damage to the image of the islands as a tourist destination. In the following years, various very expensive countermeasures were taken in an attempt to reduce the risk of flooding. These included widening of flumes and viaducts in the ravines, especially in Gran Canaria, and extension of the drainage system for rainwaters along several roads. Similarly, in the tourist centres of Tenerife, flumes were constructed in various ravines and berms were built to facilitate the transportation of runoff water from the slopes to these flumes. Major rainwater drainage networks were also built.

5. Discussion

In an archipelago which, as previously indicated, welcomed close to 16 million tourist visitors in 2018 and where the tourist sector is responsible for around a third of the islands' GDP, the damage caused by extreme rainfall events constitutes a major disruption to this economic activity and has a negative impact on the image of the islands' 'brand'.

The high degree of irregularity in these islands as far as rainfall is concerned means that, to date at least, flooding episodes tend to be restricted to certain especially vulnerable areas, are relatively infrequent, and produce moderate damage levels. However, relatively modest volumes of rainwater, as seen in the fact that the 99th percentile corresponds to only 50.0–80.0 mm of rain depending on the weather station (Table 3), can have important consequences which especially impact on tourist establishments and main roads and highways, particularly in Gran Canaria. In this respect, the three figures which relate rainfall events with CCS compensation payments show that claims for flood damage have been made when the amount of rainfall has been far less than that of the 99th percentile. This can be attributed to deficiencies in the rainwater drainage system in various tourist centres, to the extent that flood damage has been recorded in cases of rainfall of less than 20.0 mm in 24 h. In this context, some studies have been made in the Canary Islands [53,55,56] which show the consequences of the rapid and improperly planned urbanization process of various population centres, especially tourist ones. There are serious deficiencies in rainwater drainage systems, and the occupation of the natural courses of ravines and rights of way and the installation of flumes and weirs have been carried out with the intention of obtaining the maximum benefit possible from any available space [57]. Another factor has been the short-term expectations that have been generated in terms of immediate economic benefits (especially with respect to employment possibilities). Such a factor is very possibly the only explanation for the recent construction of a new system to reroute the watercourses of a natural floodplain (at a cost of more than €2 million) in order to facilitate the construction of a large leisure complex together with hotels and other services in El Veril (Figure 10). The probable construction of these new types of infrastructure and buildings in a high flood risk area is very difficult to justify if the geographic and rainfall characteristics of the area are taken into consideration.

The damage caused by rainfall in the Canary Islands only reveals one part of the problem. The maximum precipitations observed in the series that have been analysed, though very significant, were slightly less than 160 mm. However, if the return periods found with the different distribution functions are considered, there is a strong possibility of considerably more severe rainfall events. On the basis of Log Pearson III, the distribution function which best fits the studied data series, there is a strong likelihood of far worse flood events than those that have occurred to date and, consequently, more extensive damage. According to the analysed data, the maximum rainfall recorded at the Tenerife Sur weather station was 136.0 mm in November 1983, while at the Berriel station the highest value was 126.0 mm in November 1984. Importantly, these events were 36 and 35 years ago, respectively, when the tourist industry in the islands was at a far earlier stage of development than it is today. However, for the south of Tenerife, if a return period of 100 years is considered, a maximum value of 180.0 mm is obtained. In other words, a volume of rain considerably higher than the maximum value recorded to date could fall in what is now an intensely urbanised space where over 80,000 tourists may be

staying at a given moment. Such amounts are highly probable not only according to the function-based calculations but also in view of the fact that considerably higher volumes have already been recorded at other sites in the Canary Islands in similar geographic enclaves (on the eastern coasts). By way of an example, at El Hierro airport 287.0 mm of rain fell on 27 February 1988 and 232.00 mm in just 2.5 h between 16:00 and 18:30 on 31 March 2002 in Santa Cruz de Tenerife. Moreover, in the context of climate change and the reports of an increase in precipitation intensity [27,58], there is also a high probability of increased danger as the result of heavy rainfall.

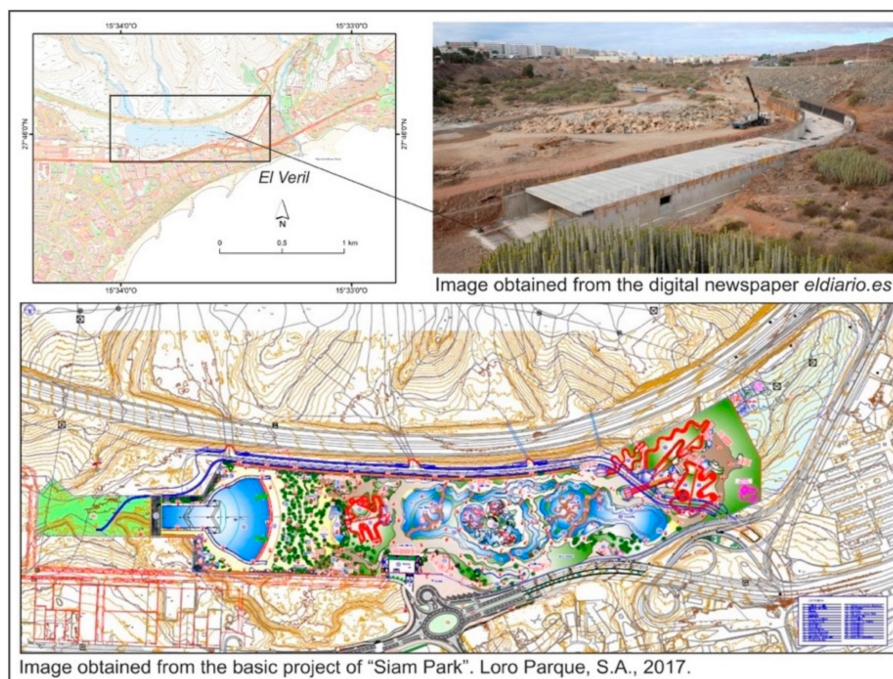


Figure 10. Location of El Veril ravine. Images are shown of the water rerouting system that has been carried out and the proposed construction of "Siam Park" in the natural floodplain and course of the ravine.

The intense rainfalls that resulted in flooding events display a strongly seasonal pattern, tending to coincide with the maximum rainfall period between the months of November and February (Table 4), although such events may also occur occasionally outside these months. Of the 41 episodes recorded, most were cyclonic and hybrid cyclonic weather type events, although the data show that they are intense and spatially very localized downpours. In other words, as is clear from the data (Table 4), the most extreme torrential episodes not only often do not affect the two islands considered in this study simultaneously, but they do not even affect all the catchment areas of an incline. There is clear evidence that in the Canary Archipelago, precipitations are highly concentrated in both time and space.

6. Conclusions

Our analysis of the consequences of intense rainfall episodes in the study areas confirms the observations of other authors on the Canary Islands, namely that, in terms of climate risks, these are the events which have caused the biggest economic losses in this territory.

Throughout its history, the archipelago has endured numerous meteorological events of this type, and the economic losses have been very high in recent decades. Most of these economic losses have affected tourist and urban spaces. In this respect, the problems that arise as a result of poor planning

in terms of countering the possibility and impact of flooding in some tourist areas in the south of Gran Canaria are well known. This deficiency in territorial planning explains the effects of floods in areas of the islands exploited by the tourism industry. Nonetheless, it must be acknowledged that the highly irregular nature of rainfall in the islands does make adequate urban planning for each particular environment a difficult task.

The analysis that was conducted of the causes of the intense rains in terms of weather types found that those that resulted in the most highly concentrated rains in time and space were of the cyclonic type. At the same time, our analysis of press reports and insurance flood damage compensation payments enabled a very precise evaluation of the economic consequences of the intense rains and the exact location of the sites where the worst damages were reported. In addition, the analysis of return periods suggests that significantly more severe rainfall events than those recorded to date can be expected, and, hence, there is a strong likelihood of more extensive flooding damage in the future.

In view of the above, there is a need to augment the weather station network to have a far greater understanding of rainfall characteristics in spaces, like those of the study area, which are intensely developed and exploited for the purposes of tourism. It is equally important to adapt urban planning and the hydraulic infrastructure to take into account the extreme intense rainfall values that can be expected. In this context, one of the main cornerstones in the development of the tourist industry must be to meet the safety demands of holidaymakers, creating more sustainable spaces and reducing flood risks to the greatest extent possible. In addition, climate change could be a determining factor in the appearance of extreme rainfall events worse than those that have occurred to date and with the potential for very serious consequences for these sectors in the south of Tenerife and Gran Canaria.

Author Contributions: Conceptualization, A.L.D., P.M.S., J.D.P. and P.D.A.; Formal analysis, A.L.D., P.M.S., J.D.P. and P.D.A.; Methodology, A.L.D., P.M.S., J.D.P. and P.D.A.; Visualization, A.L.D. and P.D.A.; Writing—original draft, A.L.D., P.M.S. and P.D.A.; Writing—review & editing, P.M.S. and J.D.P.

Funding: This research was funded by the Canary Government and the European Regional Development Fund (ERDF) to develop the research project “Flood impact analysis in coastal tourist areas: the Canary Islands—a natural laboratory of resilience” -ProId201710027-.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Vera Rebollo, F. Riesgos naturales en la actividad turística. *Áreas. Revista de Ciencias Sociales* **2003**, *23*, 159–176.
2. Gómez-Martín, M.B. La relación clima-turismo: Consideraciones básicas en los fundamentos teóricos y prácticos. *Investigaciones Geográficas* **1999**, *21*, 21–34. [[CrossRef](#)]
3. Gómez, M.B. Reflexión geográfica en torno al binomio clima-turismo. *Boletín de la AGE* **2005**, *40*, 111–134.
4. Faulkner, B.; Vikulov, S. Katherine, washed out one day, back on track the next: A post-mortem of a tourism disaster. *Tour. Manag.* **2001**, *22*, 331–344. [[CrossRef](#)]
5. Wong, P. Coastal tourism development in Southeast Asia: Relevance and lessons for coastal zone management. *Ocean Coast. Manag.* **1998**, *38*, 89–109. [[CrossRef](#)]
6. Vera Rebollo, F.; Treviño Pérez, A. Transformaciones antrópicas e inundabilidad en áreas turísticas litorales: Estudio de caso de la costa de Orihuela (Alicante). *Papeles de Geografía* **2010**, *51–52*, 317–326.
7. Kellens, W.; Neutens, T.; Deckers, P.; Reyns, J.; De Maeyer, P. Coastal flood risks and seasonal tourism: Analysing the effects of tourism dynamics on casualty calculations. *Nat. Hazards* **2012**, *60*, 1211–1229. [[CrossRef](#)]
8. Frihy, E. The necessity of environmental impact assessment (EIA) in implementing coastal projects: Lessons learned from the Egyptian Mediterranean Coast. *Ocean Coast. Manag.* **2001**, *44*, 489–516. [[CrossRef](#)]
9. Gu, M.; Wong, P. Coastal zone management focusing on coastal tourism in a transitional period of China. *Ocean Coast. Manag.* **2008**, *51*, 1–24. [[CrossRef](#)]
10. Becken, S. Harmonising climate change adaptation and mitigation: The case of tourist resorts in Fiji. *Glob. Environ. Chang.* **2005**, *15*, 381–393. [[CrossRef](#)]
11. Petzold, J.; Ratter, B. Climate change adaptation under a social capital approach. An analytical framework for small islands. *Ocean Coast. Manag.* **2015**, *112*, 36–43. [[CrossRef](#)]

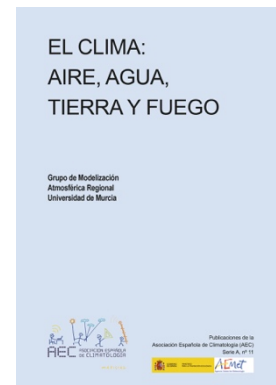
12. European Environment Agency. *Urban Adaptation to Climate Change in Europe: Challenges and Opportunities for Cities. Together with Supportive National and European Policies*; European Commission: Copenhagen, Denmark, 2013; p. 148.
13. Ministerio de Medioambiente. *Impactos en la Costa Española por Efecto del Cambio Climático; Fase III; Estrategias frente al cambio climático en la costa*: Madrid, Spain, 2014; p. 132.
14. Camarasa, A.M.; Segura, F. Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas. *Estudios Geográficos* **2001**, *62*, 649–667. [[CrossRef](#)]
15. Conesa-García, C.; García, E.X. Las áreas históricas de inundación en Cartagena. *Boletín de la AGE* **2003**, *35*, 79–100.
16. Giménez-Ferrer, J. Riesgo de inundación y ordenación territorial: El caso de la ley valenciana 4/2004. *Observatorio Medioambiental* **2007**, *10*, 145–177.
17. Gómez, M.B. Retos del turismo español ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas* **2017**, *67*, 31–47.
18. UNWTO. *UNWTO Annual Report 2018*; UNWTO: Madrid, Spain, 2008; p. 20.
19. Instituto Canario de Estadística. *ISTAC; Annual Statistics*: Tenerife, Spain, 2018.
20. IMPACTUR. *Estudio del Impacto Económico del Turismo Sobre la Economía y el Empleo de las Islas Canarias*; Exceltur and Gobierno de Canarias: Madrid, Spain, 2017; p. 38.
21. Alianza Para la Excelencia Turística (EXELTUR). 2018. Available online: <https://www.exceltur.org/> (accessed on 13 December 2019).
22. Cropper, T.; Hanna, E. An analysis of the climate of Macaronesia, 1865–2012. *Int. J. Climatol.* **2014**, *34*, 604–622. [[CrossRef](#)]
23. Alexanderson, H. A homogeneity test applied to precipitation data. *Int. J. Climatol.* **1986**, *6*, 661–675. [[CrossRef](#)]
24. Pettitt, A. A nonparametric approach to the change-point problem. *J. R. Stat. Soc.* **1979**, *28*, 126–135.
25. Buishand, T. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* **1982**, *58*, 11–27. [[CrossRef](#)]
26. Dorta, P. Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: Amenaza y vulnerabilidad. *Geographicalia* **2007**, *51*, 133–160.
27. Máyer, P.; Marzol, M.V.; Parreño, J.M. Precipitation trends and a daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain). *Cuadernos de Investigaciones Geográficas* **2017**, *43*, 255–268. [[CrossRef](#)]
28. Jenkinson, A.; Collison, F. An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic Climatology Branch Memorandum. *Meteorol. Off.* **1977**, 1–62.
29. Jones, P.; Hulme, M.; Briffa, K. A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int. J. Climatol.* **1993**, *13*, 655–663. [[CrossRef](#)]
30. Lamb, H. British Isles weather types and a register of daily sequence of circulation patterns, 1861–1971. *Geophys. Memoir.* **1972**, *116*, 1–85.
31. Spellman, G. The application of an objective weather-typing system to the Iberian Peninsula. *Weather* **2000**, *55*, 375–385. [[CrossRef](#)]
32. Trigo, R.; DaCamara, C. Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *Int. J. Climatol.* **2000**, *20*, 1559–1581. [[CrossRef](#)]
33. Llop, J.; Alomar, P. Clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison para los días de precipitación mayor o igual a 100 mm en la franja litoral catalana e Islas Baleares. *Territoris* **2012**, *8*, 143–152.
34. Grimalt, M.; Tomás, M.; Alomar, G. Determination of the Jenkinson and Collinson's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948–2009 period. Temporal analysis. *Atmósfera* **2013**, *26*, 75–94. [[CrossRef](#)]
35. Chen, D. A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study. *Int. J. Climatol.* **2000**, *20*, 1067–1076. [[CrossRef](#)]
36. Tang, L.; Chen, D.; Karlsson, P.-E.; Gu, Y.; Ou, T. Synoptic Circulation and its influence on spring and summer surface ozone concentrations in southern Sweden. *Boreal Environ. Res.* **2009**, *14*, 889–902.
37. Linderson, M. Objective classification of atmospheric circulation over southern Scandinavia. *Int. J. Climatol.* **2001**, *21*, 155–169. [[CrossRef](#)]
38. Post, P.; Truija, V.; Tuulik, J. Circulation weather types and their influence on temperature and precipitation in Estonia. *Boreal Environ. Res.* **2002**, *7*, 281–289.

39. Spellman, G. An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location. *Theor. Appl. Climatol.* **2017**, *128*, 731–744. [CrossRef]
40. Sarricoela, P.; Meseguer-Ruiz, O.; Martín Vide, J. Variabilidad y tendencias climáticas en Chile central en el período 1950-2010 mediante la determinación de los tipos sinópticos de Jenkinson y Collison. *Boletín de la AGE* **2014**, *64*, 227–247.
41. Daily Northern Hemisphere Sea Level Pressure Grids, Continuing from 1899. Available online: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds010.0/> (accessed on 29 October 2019).
42. Kozanis, S.; Christofides, A.; Namassis, N.; Efstratiadis, A.; Koutsoyiannis, D. Hydrognomon-Open source software for the analysis of hydrological data. In Proceedings of the European Geosciences Union (EGU) General Assembly, Vienna, Austria, 2–7 May 2010.
43. Pita, M.F. El papel de la prensa en el estudio de las sequías. In *IX Coloquio de Geógrafos Españoles*; Tomo, I., Ed.; Asociación de Geógrafos Españoles: Murcia, Spain, 1985.
44. Parreño, J.M. El proceso de urbanización del espacio turístico. In *Evolución e Implicaciones del Turismo en Maspalomas Costa Canaria*; Hernández-Luis, J.A., Parreño, J.M. (coord), Tomo, I., Eds.; Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana: Las Palmas, Spain, 2001.
45. García-Cruz, J.I. *El Impacto Territorial del Tercer Boom Turístico de Canarias*; Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna: San Cristóbal de La Laguna, Spain, 2013.
46. Marzol, M.V. *La Lluvia, un Recurso Natural Para Canarias*; Caja Canarias: Santa Cruz de Tenerife, Spain, 1988.
47. Luque, A.; Martín, J.; Dorta, P.; Mayer, P. Temperature trends on Gran Canaria (Canary Islands). An example of global warming over the subtropical Northeastern Atlantic. *Atmos. Clim. Sci.* **2014**, *4*, 20–28. [CrossRef]
48. Marzol, M.V. La incidencia de las sequías en las Canarias Occidentales y Orientales. In *Causas y consecuencias de las sequías en España*; Gil-Olcina, A., Morales Gil, A., Eds.; Universidad de Alicante: Alicante, Spain, 2001; pp. 345–371.
49. Máyer, P.; Marzol, M.V. Algunas reflexiones acerca del clima de las islas Canarias. *Nimbus* **2012**, *29*, 399–416.
50. Máyer, P.; Marzol, M.V. La concentración pluviométrica diaria y las secuencias lluviosas en Canarias: Dos factores de peligrosidad. *Boletín de la AGE* **2014**, *65*, 231–247.
51. Martín-Vide, J. *El Tiempo y el Clima*; Rubes: Barcelona, Spain, 2003; p. 128.
52. Lemus, M.; López-Bustins, J.A. Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el sur de Cataluña y su relación con la oscilación del Mediterráneo Occidental (WEMO). In *Clima, Sociedad, Riesgos y Ordenación del Territorio*; Olcina, J., Rico, A., Moltó, E., Eds.; Alicante, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante: Alicante, Spain, 2016; pp. 225–236.
53. Máyer, P.; Chacón, E. Tourist activity and floods on the southern coast of Gran Canaria. An indices risk? *J. Coast. Res.* **2006**, *48*, 77–80.
54. Martín-Vide, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *Int. J. Climatol.* **2004**, *24*, 959–971. [CrossRef]
55. Marzol, M.V. Lluvias e inundaciones en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. In *El Agua y el Clima*; Guijarro, J.A., Grimalt, M., Laita, M., Alonso, S., Eds.; Asociación Española de Climatología (AEC): Palma de Mallorca, Spain, 2002; pp. 36–42.
56. Máyer, P. Desarrollo urbano e inundaciones en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1869–2000). *Investigaciones Geográficas* **2002**, *28*, 145–159. [CrossRef]
57. Cantos, J.O. Riesgos de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local: El papel del planeamiento municipal. *Boletín de la AGE* **2004**, *37*, 49–84.
58. Tarife, R.; Hernández, S.; Gámiz, S.; Castro, Y.; Esteban, M. Análisis de los extremos pluviométricos en las islas Canarias y su relación con el índice NAO. In Proceedings of the VIII Congreso Internacional AEC, Salamanca, Spain, 25–28 September 2012.



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

II.1.5. Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: Temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016)



Autores/as: **Abel López Díez**, Pedro Dorta Antequera, Jaime Díaz Pacheco, Orisbel Caraballo Acosta

CITA: López Díez, A.; Dorta Antequera, P.; Díaz Pacheco, Jaime.; Caraballo Acosta, O. Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: Temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016). En Montávez Gómez, Juan Pedro, et al. (eds.). El clima: aire, agua, tierra y fuego. Madrid: Asociación Española de Climatología; Agencia Estatal de Meteorología, 2018, p. 749-759

ISBN: 978-84-7837-098-6

Código QR para acceso:



CONSECUENCIAS DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS DE RANGO EXTRAORDINARIO EN CANARIAS: TEMPORALES DE VIENTO, INUNDACIONES Y FENÓMENOS COSTEROS (1996-2016)

Abel LÓPEZ DÍEZ¹, Pedro DORTA ANTEQUERA¹, Jaime DÍAZ PACHECO²,
Orisbel CARABALLO ACOSTA²

¹*Departamento de Geografía e Historia. Universidad de La Laguna.*

²*Cátedra Reducción del Riesgo de Desastres y Ciudades Resilientes. Universidad de La Laguna.*

alopezd@ull.es, pdorta@ull.es, jdiazpac@ull.es, orisbelhenry@gmail.com

RESUMEN

La historia del archipiélago canario está plagada de episodios de origen climático con graves consecuencias. El peor de todos ellos acontecido en noviembre de 1826. No obstante en los últimos años, probablemente como consecuencia directa de la presión demográfico-turística sobre el espacio geográfico canario, los daños generados han sido muy cuantiosos. En este trabajo se estudian las pérdidas económicas ocasionadas por tres tipos de fenómenos: temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros en las dos últimas décadas, tomando como principal fuente de información la base de datos del Consorcio de Compensación de Seguros. Los resultados muestran la importancia de algunos de los eventos que concentran la mayor parte de los daños, así como sus diferencias a escala insular. Se estudian las pérdidas económicas teniendo en cuenta la inflación anual para traer los precios corrientes al año 2018. Por último, se analizan someramente los eventos de mayor gravedad desde una perspectiva climática.

Palabras clave: desastres climáticos, impacto económico, riesgos, inundaciones.

ABSTRACT

The history of the Canary Islands is plagued by episodes of climatic origin with serious consequences. The worst of them all occurred in November 1826. However, in the last decades, probably as a direct consequence of the demographic-tourist pressure on the canarian geographic space, the damages generated have been very large. In this paper we study the economic losses caused by three types of phenomena: wind storms, floods and coastal phenomena in the last two decades, taking as the main source of information the database of the Insurance Compensation Consortium. The results show the importance of some of the events that concentrate most of the damage, as well as their differences at the island levels. The economic losses are studied taking into account annual inflation to bring current prices to 2018. Finally, the most serious events are analyzed from a climatic perspective.

Key words: climatic disasters, economic impact, risks, floods.

1. INTRODUCCIÓN

Múltiples han sido los desastres de origen climático que históricamente han asolado a las Islas Canarias, desde el conocido aluvión de 1826 (Bethencourt y Dorta, 2010), las inundaciones de 1957 en La Palma o las más recientes del 31 de marzo de 2002 en Santa Cruz de Tenerife (Dorta, 2007), todos ellos presentando numerosos daños sobre las personas, bienes y servicios. No obstante, la repercusión de este tipo de fenómenos ha evolucionado de manera considerable en los últimos años. En primer lugar, experimentando un descenso reciente en los daños sobre las personas a consecuencia de una mejor gestión de las emergencias. Sin embargo, en segundo lugar, se ha evidenciado un aumento en la exposición de la población ante las amenazas de origen climático, lo que se explica mediante los procesos de ocupación y expansión de los ámbitos urbanos y litorales de los últimos años, un proceso que ha dado como resultado el incremento de la vulnerabilidad.

Es por ello que la realización de trabajos que analicen los impactos de cualquier desastre, cada vez es más importante. Estos estudios deben profundizar en las repercusiones territoriales de este tipo de eventos, con la finalidad de poder implementarlos en la planificación territorial (Máyer, 2003). No obstante, tradicionalmente los análisis de las causas físicas y humanas de los desastres han copado la mayoría de las investigaciones que se han desarrollado en España, quedando relegados a un segundo plano los impactos socio-económicos de los mismos.

Los trabajos sobre pérdidas económicas asociadas a los fenómenos meteorológicos adversos presentan un desarrollo muy escaso a escala nacional y más aún en lo que al archipiélago canario respecta. Autores como Olcina (2006 y 2009) ha publicado trabajos analizando las repercusiones económicas en nuestro país de los eventos climáticos, otros autores como Llorente (2014), Máyer (2006), Marzol (2002) han abordado el tratamiento de datos económicos únicamente para el riesgo de inundaciones en Canarias. Algunas de estas publicaciones han empleado la base de datos del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) principal entidad encargada de la compensación económica de los siniestros de rango extraordinario ocurridos en España. Sin embargo, todos estos trabajos presentan niveles de detalle limitados tanto en lo que se refiere a su escala y ámbito de trabajo como al desglose de la información de los eventos climáticos (tipo de evento, tipo de pérdidas, número de siniestros, etc). Canarias constituye una de las Comunidades Autónomas con un número mayor de pérdidas económicas derivadas de amenazas climáticas (Olcina, 2006), además posee algunos de los sucesos con mayores indemnizaciones cubiertas por el CCS, como el 31 de marzo de 2002 o la tormenta tropical Delta en noviembre de 2005. Este último es uno de los diez eventos más significativos en cuanto a daños económicos se refiere de toda España, lo que evidencia la relevancia de los fenómenos meteorológicos extremos en el archipiélago, tanto en lo que se refiere a su frecuencia como a sus múltiples implicaciones en la actividad económica de las islas.

2. OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y FUENTES

El fin del trabajo es iniciar una línea de investigación para la cuantificación del impacto económico de los eventos de origen climático de rango extraordinario en Canarias, tanto desde una perspectiva espacial y temporal como de la tipología de

daños producidos. Del mismo modo se plantea ahondar en el estudio de algunos de los principales desastres acontecidos en las últimas décadas. Para lograr estos objetivos se ha usado como fuente primaria la base de datos (BBDD) del CCS que contempla los eventos o siniestralidades registradas en Canarias, desde 1996 hasta 2016. Asimismo, la BBDD desglosa los siniestros a tres niveles: insular, municipal e infra municipal a través de los códigos postales. Será la escala insular la que se desarrollará en este trabajo.

La selección de las amenazas climáticas viene determinada por el CCS. Este organismo público empresarial identifica en tres tipologías aquellos acontecimientos extraordinarios con un origen climático: inundación, embate de mar y tempestad ciclónica atípica (TCA) (Real Decreto 300/2004), entendiéndose esta última como aquellos eventos de viento con rachas superiores a 120 km/h. Conviene destacar que la diferencia entre inundación y embate de mar está en el origen meteorológico de ambas, pues su efecto territorial está englobado dentro de las inundaciones extraordinarias. Esta selección que obvia amenazas con un importante impacto social y económico como son las olas de calor, incorpora el proceso natural que mayores daños económicos y sociales causa a nivel nacional, las inundaciones (Díez et al., 2008).

El método de trabajo se ha fundamentado en el tratamiento estadístico de la BBDD del CCS. En esta se contemplan un total de 45.934 registros distribuidos en 541 fechas con algún tipo de afección o daño registrado. Los importes económicos han sido calculados para los valores a 31 de mayo de 2018 en función de variación anual del Índice de Precios de Consumo (IPC). Conjuntamente, para la identificación en la BBDD de los eventos extraordinarios con un importante impacto en la economía insular se estableció un umbral de 100 siniestros/día. Además, para completar la valoración económica, y como fuentes secundarias, se ha recurrido a las declaraciones de ayudas recogidas en los boletines oficiales tanto nacionales como autonómicos. También se ha solicitado a algunas entidades locales (Santa Cruz de Tenerife y El Rosario) información relativa al impacto de algunos de los desastres más significativos de la serie, como el 31 de marzo de 2002 y el episodio del 1 de febrero de 2010, dos ejemplos de desastres cuyos daños se circunscribieron en gran medida a los citados municipios.

Al objeto de tratar los daños materiales que se derivan de la afección de los eventos sobre el territorio se ha recurrido a la información propiciada por la BBDD que clasifica los impactos en seis categorías: comercios y almacenes; industriales; obras civiles; oficinas; vehículos y, finalmente, viviendas y comunidades.

3. RESULTADOS

Los resultados extraídos de la BBDD del CCS se han distribuido en tres epígrafes. Primeramente se presenta una contextualización a nivel de Canarias sobre los daños e impactos de los fenómenos meteorológicos extremos así como su evolución temporal, seguidamente se plantean los mismos análisis a una escala de mayor detalle, la insular. En último lugar se presenta un estudio enfocado en los eventos que mayores daños económicos han causado en las islas.

3.1 Pérdidas por fenómenos meteorológicos adversos (FMA) en Canarias

El importe total de los efectos de los daños asociados a episodios de origen climático asciende a 270.363.087 €, repartidos en un total de 45.934 siniestros, con una evidente correspondencia temporal entre el número de siniestros y sus efectos. Así, 2005 es el año con mayores consecuencias superando los 91 millones de euros (Figura 1), debido al paso de la tormenta tropical Delta por las islas. De esta forma tres son los años que concentran las mayores pérdidas económicas: 2002, 2005 y 2010, con el 72,3% del total de la serie, 196 millones de euros.

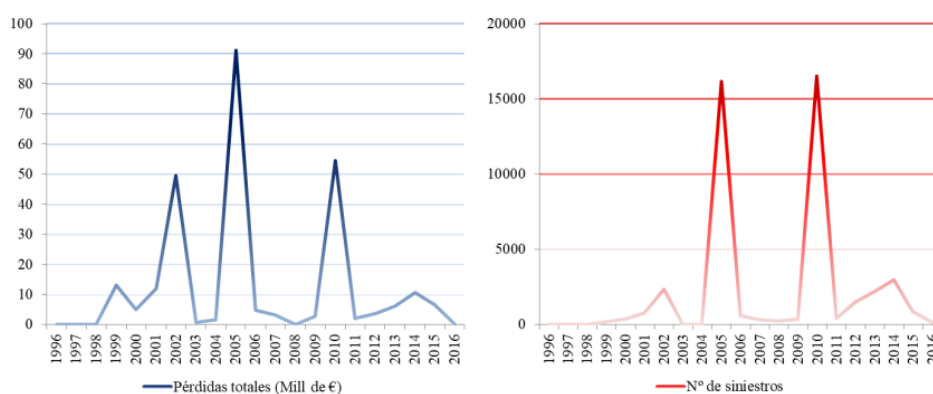


Figura 1: Pérdidas totales y número de siniestros por FMA en Canarias (1996 y 2016). Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

En lo que respecta a los FMA que han dado lugar al mayor número de siniestros se encuentran, en primer lugar, los embates de mar con un total de 34.369 registros lo que supone el 75% del total. Las inundaciones con 11.150 registros y un 24% ocupan el segundo lugar, mientras que la tempestad ciclónica atípica apenas representa el 1% del total con 414 siniestros (Tabla 1). No obstante, los mayores daños por siniestro se constatan con las inundaciones y los temporales de viento o tempestad ciclónica atípica (TCA).

	Inundación	Embate de mar	TCA
Nº de siniestros	11.150 (24,27%)	34.369 (74,82%)	414 (0,9%)
Pérdidas (Mill €)	122,3 (45,24%)	133 (49,29%)	15 (5,56%)
Valor medio del siniestro (€)	19.969	3.870	36.326

Tabla 1: Causas de los daños económicos de los FMA en Canarias (1996 y 2016). Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

Los impactos de estos episodios sobre los bienes manifiestan una clara concentración en cuanto a las pérdidas económicas en algunas de las categorías identificadas, fundamentalmente en la actividad comercial cuyas pérdidas se aproximan al 45% del

total de indemnizaciones con 120,7 Mill €. Asimismo, otras categorías como viviendas y comunidades representa casi el 25% del total (68,6 Mill €), seguida por los daños sobre la actividad industrial con un 19% (50,4 Mill €). En lo que a temporalidad se refiere se mantiene una importante homogeneidad en los repartos de daños en lo que a bienes se refiere (Figura 2).

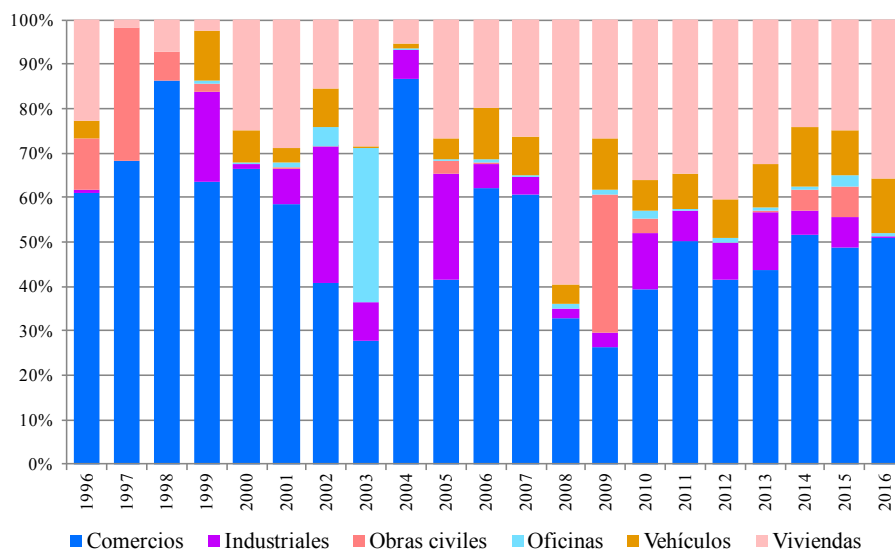


Figura 2: Daños en los bienes (%) por FMA en Canarias (1996 y 2016). Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

3.2 Pérdidas por Fenómenos Meteorológicos Adversos (FMA) a escala Insular

El reparto del número de siniestros y daños económicos presenta una cierta correspondencia con la distribución de la población y el peso económico de las islas (Tabla 2).

	EH	FTV	GC	LG	LP	LZ	TF
Nº de siniestros	101	357	6.829	152	2253	2624	33.617
Pérdidas (Mill €)	3,65	4,30	52,25	2,11	7,12	13,89	187
Población (2017)	10.679	110.299	843.158	20.976	81.350	147.023	894.636
Daños por habitante (€)	341,9	38,98	61,97	100,69	87,61	94,54	209,03

EH: El Hierro; FTV: Fuerteventura; GC: Gran Canaria; LG: La Gomera; LP: La Palma; LZ: Lanzarote; TF: Tenerife.

Tabla 2: Pérdidas totales y número de siniestros a nivel insular por FMA en Canarias (1996 y 2016). Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

Sin embargo, se evidencia, en función del número de siniestros y pérdidas, una clara diferencia entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, puesto que esta última presenta

un número de siniestros y daños económicos superiores pese a tener una población similar. La explicación está en que Tenerife ha sido afectada de manera más directa por los tres eventos más importantes del siglo XXI: inundaciones de marzo de 2002, tormenta tropical Delta en 2005 y las intensas precipitaciones de febrero de 2010.

A escala insular la información recogida evidencia diferencias en lo que a las causas de las pérdidas económicas se refiere (Figura 3). Los embates de mar representan la mayoría de las pérdidas a nivel autonómico, proceso se registra en tres de las islas; La Palma, Lanzarote y Tenerife con unos porcentajes de pérdidas económicas que oscilan del 74% y del 76% en los dos primeros casos y un 54% para la isla de Tenerife. Asimismo, las inundaciones representan el principal volumen de daños para otras tres islas: Fuerteventura, Gran Canaria y La Gomera, con el 66,7%, 64% y 77% respectivamente. Tan sólo la isla de El Hierro a consecuencia de un temporal en enero de 1999 caracterizado por intensos vientos que causaron multitud de daños en el archipiélago, presenta sus mayores pérdidas (87,7%) por tempestad ciclónica atípica.

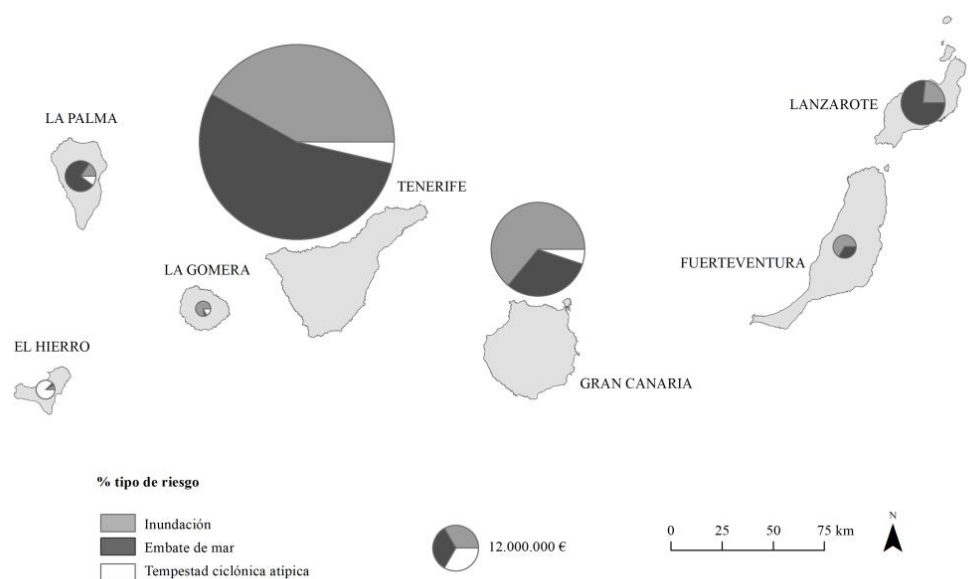


Figura 3: Causas y volumen a escala insular de daños económicos de los FMA en Canarias entre 1996 y 2016. Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

El comportamiento de los daños sobre los bienes materiales manifiesta algunas singularidades. La mayor parte de los daños en todas las islas, salvo en La Gomera, donde la mayor parte de los mismos se vinculan con la industria, se corresponden al impacto de los FMA sobre la actividad comercial. Este tipo de bienes acapara la práctica totalidad de los daños económicos en dos islas, El Hierro y Fuerteventura con unos valores del 93,2% y del 71,0% respectivamente. No obstante, islas como La Palma, Tenerife, Gran Canaria y Lanzarote, disponen un reparto de las pérdidas más equilibrado entre el resto de categorías. En el caso de La Palma, los daños sobre

actividad comercial (42,6%) y viviendas (35,7%) acaparan casi la totalidad de las pérdidas, un comportamiento casi análogo con la isla de Lanzarote donde los porcentajes se incrementan ligeramente: comercio (46,4%) y viviendas (37,3%). Tenerife y Gran Canaria, son las islas con los repartos más homogéneos entre categorías, aun así, siguen acumulando la mayor parte de sus pérdidas en comercios y viviendas. Al mismo tiempo, en estas islas aparecen importantes efectos sobre otras actividades, como la industrial en el caso de Tenerife con un 22,9% o los daños sobre en obra civil en Gran Canaria con un 7,5% del total de pérdidas (Figura 4).

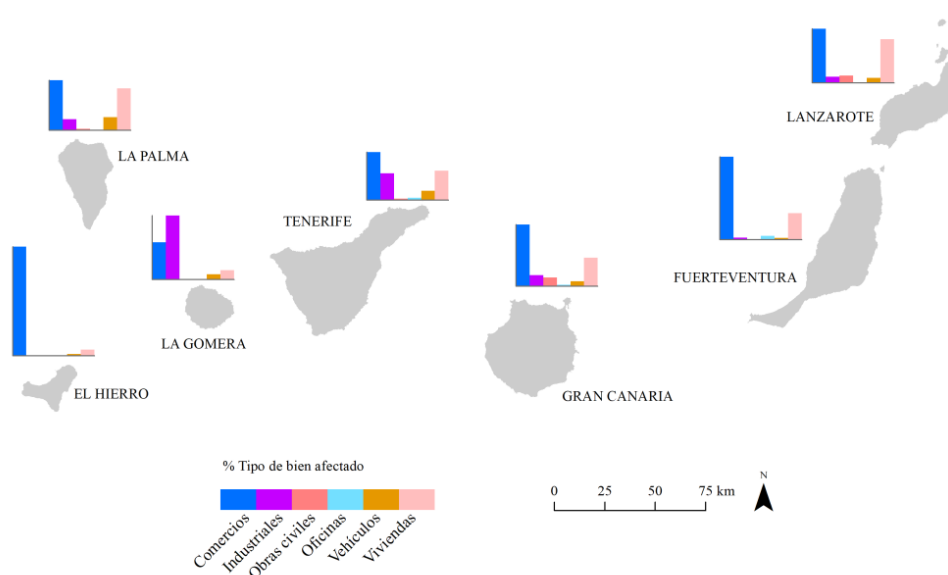


Figura 4: Daños a nivel insular de los bienes por FMA en Canarias entre 1996 y 2016. Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

3.3 Impacto económico de los principales FMA en Canarias

Un total de 25 fenómenos extraordinarios se extraen de la BBDD, superando todos ellos los 100 siniestros. El impacto de estos eventos supone un total de 239.000.020 €, un 88% de todas las pérdidas registradas en las islas y dichas pérdidas se concentran en tan sólo el 6,7% de las fechas de la serie. En la tabla 3, una de las principales aportaciones de este trabajo, se muestran esos eventos más graves.

Las precipitaciones de alta intensidad horaria suponen la principal amenaza climática, asociándose a esta el mayor número de eventos extraordinarios, como marzo de 2002, febrero de 2010 o octubre de 2015 como los más destacados. Sin embargo, los embates de mar presentan un volumen de pérdidas superior, lo que se explica por la tormenta tropical Delta (87,99 Mill €).

El viento supone un riesgo de primera magnitud para las islas, con un evento que sobresale como es el de enero de 1999. Aunque las pérdidas de este episodio (8 Mill €) no destacan entre el conjunto de episodios extraordinarios, los efectos de dicho temporal se estimaron en 156 millones de euros a consecuencia de los múltiples daños en sectores, agrícola fundamentalmente (Criado y Dorta, 2003).

Fecha	Ámbito espacial	Causa	Nº Sinistros	Pérdidas (€)
08/01/1999	Provincia Tenerife	TCA	111	8.049.995
07/01/2000	Gran Canaria	Inundación	217	3.340.167
11/11/2000	Tenerife	Inundación	108	1.411.516
20/11/2000	Gran Canaria	Inundación	600	10.398.247
31/03/2002	Tenerife	Inundación	1970	43.284.990
17/12/2002	Gran Canaria	Inundación	127	3.750.710
28/11/2005	Archipiélago	Embate de mar	15952	87.992.750
24/01/2006	Gran Canaria	Inundación	207	2.373.835
01/11/2006	Tenerife	Inundación	146	1.210.726
09/04/2008	Tenerife	Embate de mar	181	329.424
16/11/2009	Tenerife	Inundación	178	722.155
01/02/2010	Archipiélago	Inundación	2453	17.220.043
16/02/2010	Archipiélago	Embate de mar	4790	14.063.567
26/02/2010	Archipiélago	Embate de mar	3140	6.322.371
28/11/2010	Archipiélago	Embate de mar	5795	15.136.646
25/01/2011	Lanzarote	Inundación	133	596.971
30/10/2012	Tenerife, La Palma y Gran Canaria	Embate de mar	1075	1.616.989
26/11/2012	Lanzarote	Inundación	148	627.075
03/03/2013	Archipiélago	Embate de mar	1544	3.029.295
02/12/2013	Provincia Tenerife	Inundación	131	726.439
11/12/2013	Provincia Tenerife	Embate de mar	251	1.378.395
12/04/2014	Tenerife	Embate de mar	124	113.011
19/10/2014	Tenerife	Inundación	1371	7.423.819
28/11/2014	Provincia Tenerife	Embate de mar	1157	1.827.826
23/10/2015	Gran Canaria	Inundación	794	6.053.055

Tabla 3: Eventos de rango extraordinario en Canarias entre 1996 y 2016. Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros.

3.3.a Las lluvias del 31 de marzo de 2002

Constituye el episodio de mayor intensidad horaria (160mm/h) y volumen de precipitación (232,6mm) para la ciudad de Santa Cruz de Tenerife desde que existen registros y el quinto entre las capitales de provincia españolas. El resultado de este

episodio fueron cuantiosos daños tanto humanos (8 fallecidos y 30 heridos) como materiales. Las pérdidas indemnizadas por el CCS ascendieron a algo más de 43 Mill € y las ayudas oficiales se establecieron en su momento en 1,8 Mill € (Decreto 39/2002). Sin embargo, en lo que respecta a daños materiales, los informes del Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife estimaron los daños en 172,8 Mill € (A fecha de 31/05/2018). Sin duda este episodio ha constituido el mayor evento climático sufrido por un municipio canario con 218 millones en pérdidas, lo que supone casi la totalidad del presupuesto municipal actual (270 Mill €).

3.3.b La tormenta tropical Delta, 28 de noviembre de 2005

La tormenta tropical Delta originó una víctima mortal y constituyó un fenómeno en el que se batieron los récords en mayor parte de la red de anemómetros de las islas con velocidades que superaron los 150km/h y hasta los 250km/h en los sectores de cumbre. Aunque afectó a todo el archipiélago los daños más cuantiosos se dieron en la isla de Tenerife. Las pérdidas por parte del CCS se aproximaron a los 90 Mill €, siendo uno de los diez desastres climáticos indemnizados por la entidad más importantes de todo el país. Delta constituyó el desastre climático con mayores pérdidas económicas de la historia reciente de Canarias. Asimismo, para algunos sectores como el agrario las ayudas ascendieron a 6,9 Mill € (Decreto 227/2005) y las pérdidas estimadas por parte del Gobierno Canario rondaron los 300 Mill €.

3.4.c El temporal del 1 de febrero de 2010

Febrero de 2010 fue un mes muy activo meteorológicamente con tres episodios extraordinarios. Uno de los más destacables fue el del 1 de febrero de 2010, puesto que una borrasca del suroeste con características subtropicales, ocasionó precipitaciones en algunos sectores de hasta 272,6mm (López et al, 2015). La característica principal de este evento es que la casi totalidad de sus daños económicos se ubicaron en el pequeño municipio de El Rosario, con algo más de 17.000 habitantes (Tenerife), con una pérdidas que sobrepasaron los 15,5 Mill € según precios de 2018, el 90% de las totales registradas para este episodio en Canarias. Se trata de una cantidad similar al presupuesto anual del Ayuntamiento (16 Mill €). También habría que tener en cuenta gastos indirectos derivados de este episodio como la mejora de la red pluvial que tuvo que acometer la corporación municipal. Además, para este evento se establecieron ayudas de carácter oficial (Decreto 12/2010) con unos daños, independientes a las del CCS, que para la isla de Tenerife se calcularon en unos 11 Mill €.

4. DISCUSIÓN

En un territorio altamente vulnerable como el que comprende las Islas Canarias, caracterizado por una gran ocupación del mismo, una alta dependencia exterior y una economía centralizada en el sector turístico, el impacto de las amenazas climáticas supone una importante alteración en la actividad habitual de las islas. Los riesgos analizados han supuesto un impacto próximo a los 300 Mill €, una cuantía asumida por el CCS en pago de indemnizaciones a afectados. No obstante, estas no son las únicas pérdidas que llevan asociados los episodios que se han tratado, puesto que las

pérdidas en el periodo entre 1995 a 2005 se estimaron en unos 300 Mill €, incluyendo pérdidas de uno de los sectores más afectados por los fenómenos meteorológicos adversos, el agrario. En este sentido el episodio de enero de 1999 supuso un coste de 156 Mill € (Criado y Dorta, 2003), una cantidad justificada en gran medida por los daños sobre la agricultura. Asimismo, en esta aproximación a las pérdidas económicas, faltan los costes indirectos vinculados con el paso de cualquier evento extremo, como son las mejoras estructurales que se acometen tras este tipo de fenómenos por parte de las diferentes administraciones públicas.

Este volumen de pérdidas hace evidente dos problemas: la alta fragilidad de las infraestructuras ante determinados tipo de eventos, como dejó de manifiesto el paso de la tormenta tropical Delta, y fundamentalmente la ocupación de sectores con un riesgo elevado de inundación, como puede ser el frente marítimo de Santa Cruz de Tenerife donde las pérdidas para el temporal de enero de 1999 se establecieron en 14 Mill € (Rodríguez-Báez et al, 2017).

La BBDD del CCS constituye la fuente fundamental para estimar las pérdidas de un evento extraordinario, presenta un nivel de detalle y de información difícilmente alcanzable en lo que a otras entidades de carácter público se refiere. No obstante, puesto que su fin no es un análisis climático de sus causas, se evidencian para los investigadores del clima carencias en la asignación de causas a determinados eventos. Así, Delta cuyos mayores efectos estuvieron asociados al viento (Dorta, 2007) está categorizado por embate de mar. Esto puede dar lugar a que algunos resultados no sean del todo precisos o conlleven errores de interpretación.

5. CONCLUSIÓN

Los episodios climáticos extraordinarios acarrear importantes daños para la economía de las islas. Desde 1996 hasta la actualidad, las pérdidas han superado ampliamente los 600 Mill €, unas pérdidas que fácilmente pueden sobrepasar este valor, debido a la dificultad de cuantificar los daños y al complejo acceso a este tipo de información. Esto pone de manifiesto la importancia de estas amenazas y la necesidad de seguir fortaleciendo medidas estructurales y no estructurales que atenúen estos impactos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la inestimable colaboración de D. Alfonso Nájera Ibáñez y Dña. Samantha Bassi del Consorcio de Compensación de Seguros de España, y a D. Jesús Gómez Santos, Técnico de Protección Civil del Ayto de Santa Cruz de Tenerife.

REFERENCIAS

Bethencourt, J., Dorta, P. (2010). The storm of November 1826 in the Canary Islands: possibly a tropical cyclone? *Geographiska Annaler*, Vol 92A, N.3, pp. 329-337. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00398.x>

- Criado, C., Dorta, P. (2003). An unusual 'blood rain' over the Canary Islands (Spain). The storm of January 1999. *Journal of Arid Environments*, Vol. 55, N.4, pp. 765-783. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(02\)00320-8](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00320-8)
- Dorta, P. (2007). Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenazas y vulnerabilidad. *Geographicalia*, Vol. 51, pp. 33-160.
- Llorente, M. (2014). Evaluación cuantitativa de pérdidas por peligros geológicos. Caso del archipiélago de Canarias: Inundaciones, sismicidad y vulcanismo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- López, A., Dorta, P., Romero, C., Díaz, J. (2015). Movimientos de ladera en Canarias. El caso del Macizo de Anaga en el temporal de febrero de 2010. Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación. Universidad de Zaragoza AGE. pp. 1725-1734.
- Marzol, M^a.V. (2002). Lluvias e inundaciones en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. En Guijarro et al. (eds). *El agua y el clima*. Palma de Mallorca (pp. 47-74) Publicaciones de la Asociación Española de Climatología.
- Máyer, P. (2003). Riesgos asociados a episodios de lluvia intensa en Gran Canaria (1951-2000). *Vector plus*. Vol. 22, pp. 36-42.
- Máyer, P., Pérez-Chacón, E., Romero, L (2006). Lluvias e inundaciones en los centros turísticos de Gran Canaria: el caso de San Bartolomé de Tirajana. *Investigaciones Geográficas*. Vol.41, pp. 155-173. doi: <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2006.41.10>
- Olcina, J. (2006). Reducción del riesgo de inundaciones en el litoral mediterráneo español. En G. Chastagnaret, A. Gil Olcina (eds). *El papel de la ordenación del territorio*. En *Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental* (pp-157-214). Madrid: Casa de Velázquez.
- Olcina, J. (2009). Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*. Vol. 49, pp.197-220. doi: <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2009.49.10>
- Rodríguez-Báez, J., Yanes, A., Dorta, P. (2017). Determinación y caracterización de situaciones de temporal marino e inundación costera por rebase del oleaje en San Andrés, NE de Tenerife (1984-2014). *Investigaciones Geográficas*, Vol. 68, pp.95-114. doi: <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.06>

II.1.6. Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife)



Autores/as: Jaime Díaz Pacheco, **Abel López Díez**, Amalia Yanes Luque, Pablo Máyer Suárez, Pedro Dorta Antequera

DOI: <https://doi.org/10.7203/CGUV.104.16570>

CITA: Díaz Pacheco, J.; López Díez, A.; Yanes Luque, A.; Máyer Suárez. P; Dorta Antequera, P. Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife). Cuadernos de Geografía 2020, 104, 87-106.

Factor de impacto (2018):

LATINDEX: <https://www.latindex.unam.mx/latindex/ficha?folio=5729>

ISSN: 26957965

Código QR para acceso:



JAIME DÍAZ PACHECO^a
ABEL LÓPEZ DÍEZ^b
AMALIA YANES LUQUE^c
PEDRO DORTA ANTEQUERA^d
PABLO MÁYER SUÁREZ^e

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD LOCAL POR INUNDACIÓN EN ÁREAS TURÍSTICAS COSTERAS DE CLIMA ÁRIDO: APLICACIÓN AL LITORAL DE ARONA Y ADEJE (SO DE TENERIFE)

RESUMEN

En este trabajo se propone una metodología cualitativa para el cálculo de un índice de vulnerabilidad por inundación. Partiendo de información disponible en muchas administraciones locales, esta se aplica en el litoral de Arona y Adeje, áreas turísticas en el suroeste de Tenerife que cuentan con una oferta alojativa superior a las 90.000 plazas, como consta en el Instituto de Estadística del Gobierno de Canarias. De la labor desarrollada a nivel de parcela catastral resulta un índice de vulnerabilidad que oscila entre un valor mínimo de 0 y un máximo 1, así como su diferenciación espacial según la antigüedad de las urbanizaciones turísticas. El empleo del índice que se formula permite evaluar a escala local y con gran precisión la vulnerabilidad de espacios turísticos.

a Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía e Historia y Cátedra Universitaria “Reducción del riesgo de desastres y ciudades resilientes”. jdiazpac@ull.es.

b Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía e Historia y Cátedra Universitaria “Reducción del riesgo de desastres y ciudades resilientes”. alopezd@ull.es.

c Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía e Historia. ayanes@ull.es.

d Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía e Historia y Cátedra Universitaria “Reducción del riesgo de desastres y ciudades resilientes”. pdorta@ull.es.

e Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG). pablo.mayer@ulpgc.es.

Fecha de recepción: 27/1/20. Fecha de aceptación: 22/4/20.

PALABRAS CLAVE: costa; desastres; parcela catastral; riesgo de inundación; Tenerife; vulnerabilidad.

ABSTRACT

This paper proposes a qualitative methodology for calculating a flood vulnerability index. Based on information available in many local administrations, it is applied in the Arona and Adeje coast, tourist areas in the southwest of Tenerife that have a lodging offer of over 90.000 places annually (IS-TAC, 2018). From the work carried out at the cadastral plot level, a vulnerability index is extracted that ranges between a minimum value of 0 and a maximum of 1, as well as its spatial differentiation according to the age of the tourist urbanizations. This index is a good method for evaluations of urban spaces vulnerability

KEYWORDS: cadastral plot; coast; disasters; flood risk; Tenerife; vulnerability.

LA VULNERABILIDAD LOCAL COMO OBJETIVO DE ANÁLISIS EN ESPACIOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN

La guía para la adaptación y la elaboración de planes locales de adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Gobierno de España (MAPAMA, 2015) define la vulnerabilidad del territorio según su propensión a ser afectado por una amenaza. En iguales términos se expresan los informes para la gestión del riesgo de eventos extremos y desastres del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014). No obstante, en sus descripciones la vulnerabilidad también se contempla como un conjunto de caracteres y condicionantes fruto de la realidad social, cultural, histórica, medioambiental, política y económica en la que la sociedad desarrolla sus actividades (Cardona, 2012). Unos y otros podrían configurar los ejes básicos de diversos indicadores, que posibiliten medir y/o evaluar de forma adecuada la vulnerabilidad de un territorio o de una comunidad ante una amenaza determinada. Además, en el contexto del Cambio Climático aquella se construye, así mismo, en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de todo grupo humano (McCarthy *et al.*, 2004; Füssel and Klein, 2006; G. O'Brien *et al.*, 2008). En este sentido, la exposición aparece como factor tácito y objetivo al que la vulnerabilidad se vincula casi en su práctica totalidad (Burton *et al.*, 1993). Ello es evidente sobre todo cuando se trata de riesgos específicos, como los que entrañan las inundaciones dadas sus repercusiones en la población y en el territorio.

La presencia y la integración de las variables a partir de las que sopesar la vulnerabilidad y precisar el grado de detalle de su evaluación están subordinadas, en lo esencial, a la escala de análisis a emplear y a la disponibilidad de datos al respecto: en el primer caso, porque puede ser continental, nacional, regional o local (Ruiz Pérez, 2011, p. 47); en el segundo, porque el volumen óptimo de registros no es siempre alcanzable. La combinación de estos dos aspectos introduce un margen de heterogeneidad y diferenciación espacial apreciable en su análisis. De ahí que sea de gran utilidad, desde una óptica geográfica, el tratamiento y la representación cartográfica de la información a escala local para evaluar, planificar y mitigar el riesgo.

Partiendo de estas consideraciones, la finalidad del presente trabajo es realizar una aproximación a un método de valoración y zonificación, a escala de parcela catastral, de la vulnerabilidad frente al riesgo de inundación. Para ello, la labor a efectuar se orienta, de un lado, al establecimiento de indicadores cualitativos de amenaza-exposición y vulnerabilidad, previa clasificación de los elementos en riesgo; y, de otro, a comprobar su viabilidad mediante la aplicación en espacios sensibles a las avenidas, de los que son exponentes claros los municipios de Arona y Adeje en el suroeste de Tenerife. Su elección deriva de la concurrencia de diversos factores medioambientales y socioeconómicos, que propician, al igual que en otras regiones del globo, situaciones de peligro. Entre ellos cabe destacar el ser áreas costeras con alto grado de ocupación, regímenes pluviométricos áridos con escorrentías esporádicas pero violentas y una actividad económica basada en el turismo, al que se debe una urbanización rápida y falta, por lo común, de planificación adaptada al medio.

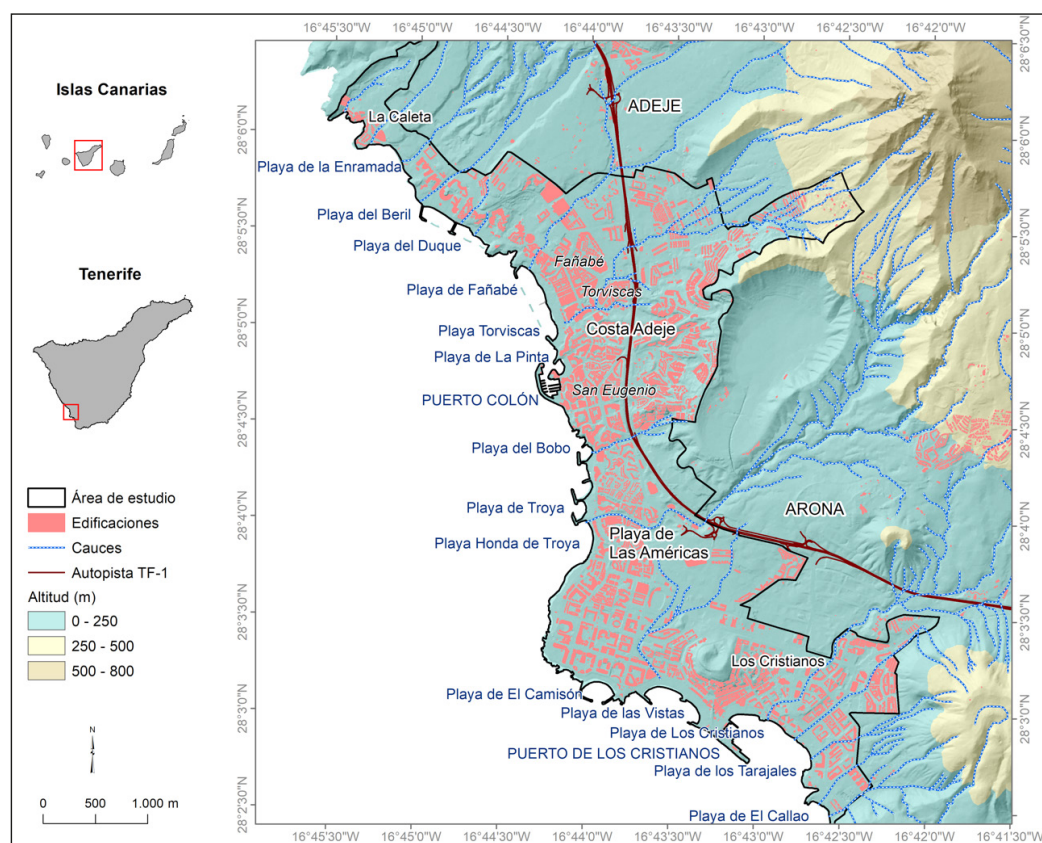


Figura 1. Localización y delimitación del área de estudio. Costa de Arona y Adeje (SO de Tenerife). Fuente: Grafcan e IGN (2019).

EL ÁREA DE ESTUDIO EN UN CONTEXTO DE RIESGO

El ámbito objeto de análisis es una franja de 16,2 km², que se extiende a lo largo de los 19,1 km del litoral de Arona y Adeje y los 100 metros de altitud. Se trata de un espacio de vocación turística manifiesta, considerando su pertenencia a los dos municipios que albergan no solo los centros neurálgicos del turismo tinerfeño, sino también de los más importantes de España (figura 1). Lo evidencia el volumen de su infraestructura y una oferta alojativa en 2018 de 91.266 plazas con una ocupación media anual que ronda el 73% (ISTAC; Díaz-Pacheco *et al.*, 2019); a esto se suma el carecer de la estacionalidad propia de los destinos turísticos mediterráneos.

La transformación del modelado y dinámica litoral por acción antrópica es rasgo distintivo del área que se estudia, fruto de la acomodación impuesta por una industria demandante, como ocurre en todo ámbito turístico, de espacio adecuado para satisfacer las exigencias de recreación y ocio junto al mar de un número de usuarios que no deja de aumentar (Roig *et al.*, 2011). Lo que en principio era una costa jalonada por acantilados sobre coladas y depósitos sedimentarios, plataformas de abrasión y playas de cantos en terrazas y desembocadura de barrancos, ha sido sustituida por complejos residenciales, paseos marítimos, terrazas turísticas, obras portuarias y playas regeneradas de modo artificial provistas de diques de contención de arenas. La costa de Arona y Adeje es en la actualidad un continuo edificado sin espacios vacíos que completar, en el que se suceden casi sin interrupción playas urbanas, como Los Tarajales, Los Cristianos y Las Vistas, en Arona, y El Bobo, La Pinta, Torviscas, Fañabé, El Duque, en Adeje entre otras: playas definidas no tanto por la accesibilidad y dotación de servicios de baño, como por la fragilidad y vulnerabilidad ocasionadas por la alteración de su equilibrio natural.



Figura 2: Cambio de usos del suelo en la costa de Los Cristianos, en el SE de Arona (SO de Tenerife): del secano agrícola en la primera mitad del siglo XX al desarrollo turístico actual. Fuente: Anónima (imagen izquierda) y Autores (imagen derecha).

La saturación demográfica y urbanística de este litoral entronca con los cambios de uso del suelo registrados en Canarias desde la década de 1960 por la adopción de un modelo de desarrollo turístico-urbanizador, que deriva en una litoralización inusitada del territorio insular (Pérez-Chacón *et al.*, 2007). Muestra de ello es la evolución de Arona y Adeje desde una agricultura marginal de secano y cultivos bajo plástico a una explotación de su frente de mar por una industria de ocio y recreación ligada al turismo de sol y playa (figura 2).

Estas localidades suman a los efectos negativos de una utilización social creciente de su costa los riesgos que pueda ocasionar la escorrentía, cuando se produce. Por ellas discurre el tramo final de los barrancos de 16 cuencas-vertientes alargadas, que la erosión ha abierto en los mantos piroclásticos y coladas fonolíticas, traquíticas y basálticas procedentes de las erupciones acontecidas en el dorso meridional de la Caldera de Las Cañadas del Teide en los dos últimos millones de años (Kereszturi *et al.*, 2013). Constituyen en su conjunto cuencas de drenaje de orden 2 y 3 (63%) con una extensión media de 0,65 a 3,5 km², seguidas a cierta distancia por otras de rango 4 y 5 (25%) de entre 4,4 y 35 km² de superficie. Unas y otras son surcadas por cauces secos de funcionamiento ocasional y acusada torrencialidad, en respuesta a la aridez climática imperante (Díaz-Pacheco *et al.*, 2019), ya que la precipitación media anual es de 145 mm en el observatorio de Adeje, aunque se han registrado eventos extremos de más de 158 mm en 24 h (AEMET, 2018). En este contexto, es muy relevante la capacidad de respuesta de tales cauces a unas lluvias que, por su gran concentración espacial y temporal, pueden causar inundaciones en el curso bajo y desembocadura de muchos barrancos, coincidiendo con el emplazamiento de la mayoría de las infraestructuras y de la urbanización.

El riesgo de avenidas está ligado en este territorio a una rápida expansión urbana propiciada por al auge de la actividad turística, con un ritmo constructivo más o menos constante desde la década de 1970. En este marco, la urbanización progresa espacialmente de sureste a noroeste y desde el litoral hacia el interior, pues las edificaciones más antiguas corresponden al núcleo de Los Cristianos, en Arona, mientras las intervenciones más recientes se desarrollan desde Costa Adeje hacia La Caleta, en Adeje (figura 3).

La ocupación se inicia en las áreas de menor pendiente, siendo estas las más próximas a la costa (puerto pesquero de Los Cristianos, en Arona, y Las Américas, sector bajo de San Eugenio y la Caleta, en Adeje). Se caracterizan por una ocupación carente, con frecuencia, de planificación integral desde el comienzo de la implantación de la actividad turística. De ahí que no se hayan tenido en cuenta el trazado de los cursos de agua, dado el carácter discontinuo de la escorrentía, y la ubicación de las superficies de drenaje y desembocadura de los barrancos que aquí finalizan. Conforme se colmata el frente marítimo y sus aledaños, la edificación avanza hacia ámbitos de pendiente más pronunciada (Veriles de Los Tableros y Somada de Los Eres, en Arona, y Fañabé, Torviscas, Miraverde y Risco de Adeje, en Adeje) (figura 3). Se asiste así a un incremento de las coberturas urbanas, con la impermeabilización consiguiente de terrenos surcados por cauces que circulan por suelos privados de su capacidad de infiltración. A esta pérdida acompañan, en la actualidad, la canalización del curso medio de numerosos barrancos, sobre todo cuando discurren bajo la trama urbana, la disposición de viales en sentido transversal a los cauces, la existencia de desagües sin dimensionamiento adecuado y de sistemas deficientes

de canalización de pluviales y la construcción de paseos marítimos en cotas superiores a la rasante de la desembocadura de los cursos de agua.

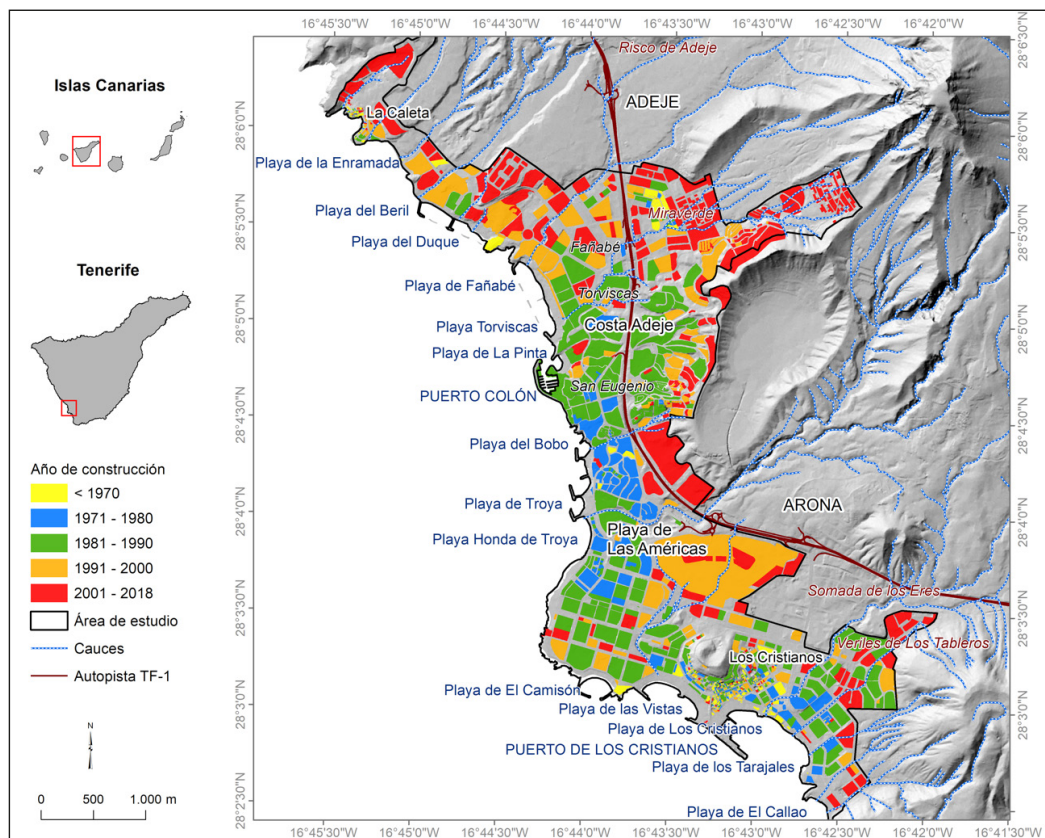


Figura 3. Antigüedad de las edificaciones en la costa de Arona y Adeje (SO de Tenerife). Fuente: Catastro, Grafcan, y PNOA (2019).

La vulnerabilidad ante la amenaza de inundación caracteriza, por todo ello, al área de estudio, aunque con especial relevancia en áreas urbanas con cierto desnivel y capacidad de infiltración reducida. Es aquí donde la circulación del agua en episodios de avenidas súbitas suele producir la interrupción de la movilidad peatonal y del tráfico y el encharcamiento local y puntual de espacios impermeables donde aquella es incapaz de ser evacuada por el drenaje urbano, como locales comerciales y de servicios edificados bajo rasante; destacables son, en este sentido, los almacenes y garajes de infraestructuras hoteleras. Las playas sufren también los efectos de las lluvias intensas en relación con los desbordamientos de cauces, como ha sucedido en algunos de los 21 episodios de precipitación extrema registrados entre 1980 y 2018 (13/12/2002, 18/04/2011) (Díaz-Pacheco *et al.*, 2019). Muestra de tal vulnerabilidad son

los más de dos millones de euros que el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) pagó entre 1996 y 2016 en concepto de indemnización, por los daños y efectos sobre todo económicos de las avenidas.

FUENTES Y MÉTODO

Fuentes para el análisis de la vulnerabilidad

La identificación de las áreas expuestas al peligro de avenida y/o inundación (amenaza-exposición) se realiza a través del uso de tres fuentes específicas: de un lado, la Cartografía Nacional de Zonas Inundables a escala 1:25000 (SNCZI, 2014), cuyo establecimiento y administración corresponden al Ministerio de Transición Ecológica (MITECO) de acuerdo con la directiva 2007/60 sobre evaluación y gestión de riesgo de inundación; de otro, el Plan de Defensa de Avenidas (PDA, 2015) dependiente del Consejo Insular de Aguas de Tenerife, que identifica ciertos tramos del cauce de barrancos y una serie de puntos y áreas del territorio insular proclives a experimentar fenómenos de inundación. Y, por último, la prensa local (El Día, Diario de Avisos, La Opinión y Gaceta de Canarias) examinada entre 1970 y 2018, con el fin de obtener evidencias acerca de las consecuencias del impacto y la localización de las inundaciones durante el periodo señalado.

Además de esta información contenida en documentos de planificación para la gestión del riesgo de inundación y el análisis de la prensa, se identificaron episodios de precipitación extrema a través del análisis de los registros de tres estaciones meteorológicas de la isla de Tenerife situadas en el entorno del área de estudio y pertenecientes a AEMET. En la tabla 1 se muestran las series usadas, su localización y los períodos en que se inician y finalizan, con indicación del número de años completos de cada una de ellas.

Tabla 1. Localización, altitud y período temporal de las series pluviométricas utilizadas.

Fuente: AEMET (2019).

Estación	Isla	Latitud N	Longitud W	Altitud (m)	Inicio	Fin	Años serie
C429I-Tfe. Sur	Tenerife	27°59'29"	16°41'10"	12	07/1980	12/2018	37
C418U-Adeje	Tenerife	28°06'40"	16°42'59"	266	04/1944	08/2007	25
C429A-Arona	Tenerife	27°59'29"	16°41'10"	12	01/1945	07/1994	44

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad se recurre a fuentes que permiten localizar y definir usos, edificaciones y distintas actividades, aunque la unidad mínima de análisis empleada es la parcela catastral. En este contexto, la parcela catastral, establecida en el sistema de gestión de la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda de España, adquiere gran relevancia como unidad de análisis. Su empleo en este trabajo obedece a que su demarcación es objetiva, como exactos son sus límites y la naturaleza de su información. Cabe destacar la proporcionada acerca del inmueble o

conjunto de inmuebles que la ocupa y la relativa, entre otros aspectos, a la superficie total construida, a la parte de esta que se encuentra bajo la rasante y a la antigüedad de la edificación; de igual manera, la relativa a reseñas sobre los usos del suelo susceptibles de extrapolación, que, a pesar de su más difícil acceso, permiten la realización de cálculos para la estimación de la vulnerabilidad (Camarasa *et al.*, 2008). De esta forma, el uso de la parcela catastral facilita medir su pendiente topográfica media, agregar ubicaciones puntuales aprovechables para locales de servicios, comercios, restauración, entre otras construcciones, o desagregar, por extrapolación, datos de población o plazas turísticas. Macías González (2017) la utiliza, mediante ciertas adaptaciones, para la estimación local del riesgo por movimientos de ladera en áreas turísticas costeras del sur de Gran Canaria y para el examen de la impermeabilización del sustrato. A la parcela catastral se añade en el estudio que ahora se realiza, el área ocupada por las playas, donde generalmente se localiza la desembocadura de diversos barrancos.

Otras fuentes consultadas para evaluar la vulnerabilidad son la base de datos geográficos de actividades del Cabildo de Tenerife (2018), de la que procede la información relativa a tipo y ubicación de edificaciones, así como los datos de población residente por núcleos de población proporcionados por el ISTAC (2017).

Método

En los procesos de evaluación del riesgo, existen múltiples metodologías para calcular la vulnerabilidad (Balica *et al.*, 2012; Birkman, 2007; Cardona, 2005; D'Ercole y Metzger, 2004; Polsky *et al.*, 2003; Rhased y Weeks, 2003; Villagrán de León, 2006). Cuando se plantean a escala local, se suelen centrar en la identificación de diferencias espaciales en el ámbito de una región concreta, para diseñar con posterioridad medidas de reducción del riesgo. Experiencias como las de Aroca-Jiménez *et al.* (2018) en Castilla-La Mancha se caracterizan por su enfoque estadístico y consideración de la administración municipal como unidad mínima de análisis. A este nivel, la disponibilidad de información estadística y una cierta heterogeneidad ambiental y socio-económica entre los 919 municipios de esa Comunidad Autónoma posibilitan el reconocimiento de desigualdades geográficas. Este hecho es extensivo al análisis en grandes cuencas, como pueden ser los estudios realizados al respecto en América Central (Jiménez *et al.*, 2004). A partir de ellos es factible distinguir con mayor claridad diferentes tipos o ejes de vulnerabilidad – desde la económica y política hasta la social – cuya consideración posibilita el establecimiento de un índice de conjunto.

La cuestión entraña mayor dificultad si el espacio de estudio se reduce a un enclave urbano local con cierta homogeneidad, en cuanto a población residente, número de turistas, densidad urbana, actividad económica y aspectos sociales. Así sucede en el ámbito conformado por Arona y Adeje, donde la distinción del grado de vulnerabilidad puede radicar sólo en matices. En este sentido, la antigüedad de las edificaciones, la identificación de áreas afectadas de manera recurrente por las avenidas, la pendiente del terreno valorada por su importancia en la capacidad de arrastre y erosión de la escorrentía superficial, las construcciones bajo rasante o el aforo pueden tenerse como indicadores, que influyan en la diferenciación espacial de la susceptibilidad de cada una de las diversas estructuras existentes a ser

dañadas con motivo de un evento de inundación. Examinar la vulnerabilidad a este nivel de detalle suele conllevar, por lo general, importantes esfuerzos a la hora de generar información, en especial si los datos no están siempre disponibles y su obtención requiere gran inversión de tiempo y recursos. Por ello, contar con un procedimiento para su evaluación de forma útil y factible, según los registros con que se puede trabajar y hacerlo a escala local, es de interés notable desde la óptica del planeamiento, sobre todo para la reducción del riesgo.

Cálculo de la vulnerabilidad específica (V_t)

Durante el Decenio Internacional de los Desastres Naturales declarado por Naciones Unidas en 1990, esta organización publicó un manual dirigido a gestores de planificación para apoyar su labor en la mitigación de desastres naturales. En él se recoge una metodología para la evaluación del riesgo (UNDRO, 1991, p. 71), que, en lo esencial, se sigue empleando en la actualidad. De ahí que constituya la base de muchos de los métodos aquí consultados.

De la consideración de tal metodología resulta que para el cómputo del riesgo total (R_t) es preciso que el mismo sea igual al producto de los elementos en riesgo o vulnerables (E) y el riesgo específico (R_s). Este último se expresa, a su vez, en función del producto entre la amenaza (A) y la vulnerabilidad (V). De este modo:

$$R_t = \sum (E) (R_s) = (E) (A * V)$$

El significado otorgado al riesgo específico en este planteamiento guarda gran similitud con la forma en que, por lo general, se concibe el concepto de vulnerabilidad. Lo que en este caso se denomina riesgo específico (R_s) puede ser considerado, entonces, como un cómputo de vulnerabilidad específica (V_t), cuyo cálculo tiene lugar en función del tipo de elemento en riesgo (E). De este modo:

$$V_t = (E) (A * V)$$

Donde la vulnerabilidad específica (V_t) está calculada para cada unidad de análisis o parcela catastral. (E) es el factor de ponderación aplicado a los elementos vulnerables de cada parcela catastral de acuerdo a su clasificación según su uso. (A) es la amenaza-exposición calculada en función de los peligros identificados y propiedades físicas (Ej: pendiente del terreno) que afectan a cada unidad de análisis. (V) es un cómputo entre algunos factores socio-económicos simples de la unidad de análisis relacionados con su vulnerabilidad ante avenidas y/o avenidas.

Clasificación y ponderación de los elementos vulnerables (E)

Los elementos vulnerables (E) se clasifican de acuerdo a sus características frente a la amenaza-exposición (A), lo que se incorpora como un factor de sensibilidad. Este funciona como un valor de ponderación y también como propiedad a partir de la cual la amenaza-exposición (A) y la vulnerabilidad (V) integran unos u otros indicadores.

Para posibilitar la ponderación de los elementos vulnerables (E), con respecto al contexto donde se acomete el proceso de evaluación, se procede a su agrupamiento según aconseja la metodología de UNDRR (1991). De acuerdo a sus rasgos, la sistematización que aquí se propone parte de una simplificación de la dinámica socio-económica principal en cada parcela. De este modo, se establece un factor de ponderación de los usos de suelo entre 0 y 1, definido por cómo un episodio específico de inundación puede afectar a los diferentes espacios. Esto hace que usos vinculados, por ejemplo, a las edificaciones turísticas y residenciales presenten un valor de ponderación de 0,75 y 0,5, respectivamente, mayor al de usos como playas (0,25) o aparcamientos (0,25), donde los daños y efectos tanto económicos como sociales van a ser *a priori* menores.

En este sentido, aunque los usos de suelo son un factor determinante, es posible que la existencia de ciertas actividades influya también en la categorización que se establece. Así, por ejemplo, la presencia de un centro hospitalario en una parcela con edificación residencial puede hacer que se catalogue en función de dicho centro, al ser el agente esencial de la actividad que en ella tiene lugar. Los valores de ponderación establecidos se muestran en la tabla 2.

Identificación de la amenaza-exposición (A)

Las fuentes citadas posibilitan la localización de las áreas y puntos que, según diversos estudios sobre el desarrollo de distintos planes preventivos y de gestión (SNCZI, 2014; PDA, 2015), se encuentran en riesgo de sufrir inundaciones y avenidas. Riesgo en función bien de la existencia de daños ocurridos en eventos de avenida y/o inundación registrados, o bien por la realización de modelos hidráulicos, que señalan zonas potencialmente inundables para periodos de retorno de 100 y 500 años (SNCZI).

La identificación de los episodios extremos se lleva a cabo mediante el análisis de las series temporales de precipitación diaria, procedentes de las estaciones meteorológicas seleccionadas empleando el Percentil, P_{99} . Tras su individualización se determinan las consecuencias que han podido causar las lluvias, al tiempo que se relacionan con trabajos de riesgo que, en un primer momento, se han desarrollado en el área de estudio (López *et al.*, 2019). En tal sentido, se tienen en cuenta procesos de encharcamiento de áreas específicas, inundación temporal de calles, inundación de edificios de uso residencial, turístico o comercial, colapso puntual y localizado del sistema urbano de evacuación de aguas, afecciones a playas o zonas de baño, etc.

Una vez reconocida y localizada la amenaza se realiza la valoración de la exposición, la cual se aplica a los elementos vulnerables (en riesgo). Cada evidencia de amenaza se contabiliza con el valor de 1, añadiéndose una unidad cada vez que existe coincidencia espacial. De esta manera, si una parcela se encuentra afectada por un área de peligro señalada por el PDA y también por un área de riesgo potencialmente significativa, adquiere una valoración de 2 unidades. Se tiene en cuenta, además, otro factor inherente a las propiedades del terreno donde se extiende la unidad de análisis, como es la pendiente, que también se contabiliza por su estrecha relación con los procesos de escorrentía y flujo laminar de agua y acarreo. En este caso se realiza una clasificación de los valores por cuartil, normalizando de 0 a 1 la valoración y añadiéndola así mismo al cálculo realizado.

Valoración de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad para cada elemento en riesgo se estima a través de la observación de diferentes indicadores. Su cómputo individual se realiza mediante la agrupación de cada variable en cuartiles para, a continuación, normalizar el valor de 0 a 1. Con posterioridad, cada uno de estos cómputos se suma para obtener el valor (V) dentro de la ecuación de cálculo de la vulnerabilidad total (Vt). De este modo se identifican: (1) componentes constructivos (Dwyer *et al.*, 2004), como la edad de los inmuebles y la ubicación de edificaciones bajo el nivel de la calzada; (2) el número de comercios, restaurantes y servicios ubicados en cada parcela (Cabildo de Tenerife), que suelen estar generalmente en la primera planta; (3) la superficie de las edificaciones ubicadas bajo rasante; y (4) elementos cuantitativos referidos a las personas, como el aforo de determinadas instalaciones, el número de plazas alojativas o la población residente total desagregada en parcelas, a partir de los registros de 10 núcleos de población que conforman el área de estudio.

Tabla 2. Identificación y valoración de indicadores de vulnerabilidad propuestos. Fuente: Elaboración propia.

Agrupación de Elementos Vulnerables	Indicadores de Amenaza-Exposición	Valores asignados	Indicadores de Vulnerabilidad	Valores asignados
1. Playas y zonas de baño <i>Factor de ponderación 0,25</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Capacidad de acogida	Asignación según capacidad de carga y superficie
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento		
	Es desembocadura de cuenca	0 no daño 1 x evento		
2. Instalaciones portuarias <i>Factor de ponderación 0,25</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Nº de comercios, equipamientos	Asignación según número total de servicios
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento		
	Es desembocadura de cuenca	0 no daño 1 x evento		

Agrupación de Elementos Vulnerables	Indicadores de Amenaza-Exposición	Valores asignados	Indicadores de Vulnerabilidad	Valores asignados
3. Espacios abiertos: Parques, plazas; parques temáticos; campos de golf; instalaciones deportivas <i>Factor de ponderación 0,25</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Aforo	Asignación según superficie
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento		
	Es cruzada por cauce	0 no daño 1 x evento		
	Pendiente media	<10°=0, 10°- 15°=0,25 15°- 30°=0,50 30°- 45°=0,75 >45°=1		
4. Edificaciones residenciales <i>Factor de ponderación 0,50</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² =0 <=50 m ² =0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200 m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Nº de comercios, equipamientos	Asignación según número total de servicios
5. Edificios de alojamiento turístico <i>Factor de ponderación 0,75</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² =0 <=50 m ² =0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Nº de comercios, equipamientos	Asignación según número total de servicios
	Pendiente media	<10°=0, 10°- 15°=0,25 15°- 30°=0,50 30°- 45°=0,75 >45°=1	Plazas de alojamiento	<=200 = 0,25 <=300= 0,50 <=500= 0,75 >500= 1

Agrupación de Elementos Vulnerables	Indicadores de Amenaza-Exposición	Valores asignados	Indicadores de Vulnerabilidad	Valores asignados
6. Edificaciones comerciales, equipamientos y otras actividades <i>Factor de ponderación 0,50</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² =0 <=50 m ² =0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200 m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Nº de comercios, equipamientos	Asignación según número total de servicios
	Pendiente media	<10°=0, 10°- 15°=0,25 15°- 30°=0,50 30°- 45°=0,75 >45°=1		
7. Colegios y centros de formación <i>Factor de ponderación 1</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² =0 <=50 m ² =0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200 m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Número de usuarios	Asignación según número total de usuarios
8. Hospitales y centros de día y centros de salud <i>Factor de ponderación 1</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² =0 <=50 m ² =0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200 m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Número de usuarios	Asignación según número total de usuarios
9. Servicios de seguridad, emergencias y protección civil <i>Factor de ponderación 1</i>	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² = 0 <=50 m ² = 0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200 m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Grado importancia Protección Civil	Amplifica el factor de ponderación

Agrupación de Elementos Vulnerables	Indicadores de Amenaza-Exposición	Valores asignados	Indicadores de Vulnerabilidad	Valores asignados
10. Aparcamientos Factor de ponderación 0,25	Daños constatados (PDA, prensa)	0 no daño 1 x evento	Superficie bajo rasante	0m ² =0 <=50 m ² =0,25 <=150 m ² =0,50 <=1200m ² =0,75 >1200 m ² =1
	Se encuentra en zona inundable (SNCZI)	0 no daño 1 x evento	Capacidad o aforo	Asignación según superficie

Una aplicación práctica del cálculo total de la vulnerabilidad establecido en este trabajo se muestra en el ejemplo recogido en la tabla 3, correspondiente a una parcela con una vocación de uso de alojamiento turístico.

Tabla 3. Cálculo de la vulnerabilidad total (Vt) para una parcela catastral de uso de alojamiento turístico. Fuente: Elaboración propia.

Elemento Vulnerable (E)	Factor de ponderación (E) 0-1	Amenaza total (A)	Amenaza ponderada (A) 0-1	Vulnerabilidad total (V)	Vulnerabilidad ponderada (V) 0-1
Edificios de alojamiento turístico	0,75	Afectado por cauce= +1 Daños Constatado en Prensa= +2 Pendiente de 18°= +0,5 TOTAL=3,5	0,33	Presenta una superficie bajo rasante de 1000m ² = +0,75 Presenta 250 plazas de garaje = +0,5 Presenta un total de 11 comercios= +0,15 TOTAL=1,4	0,26

En definitiva, para el cálculo de la vulnerabilidad específica ($V_t = E * A * V$) se emplearía el producto del elemento vulnerable por la amenaza ponderada y por la vulnerabilidad ponderada. El resultado final del ejercicio realizado sería de 0,06, valor indicativo de un índice de vulnerabilidad bajo.

RESULTADOS

El trabajo realizado permite la identificación de 59 episodios de inundación, de los que 31 causan daños importantes, según información de la prensa. Además, se localizan y cartografían 65 enclaves concretos con problemas de avenida y/o inundación, con diferentes niveles de recurrencia. Sirva aquí el ejemplo del cruce de la autopista (TF1) a la altura de Torviscas, donde la prensa menciona inundaciones e impactos en 5 de los 59 episodios analizados (figura 4).

La aplicación de la metodología diseñada al área de estudio se concreta en un índice con representación cartográfica a escala de parcela catastral. De acuerdo con el difundido método de Jenks (1967), la figura 5 muestra la clasificación del índice de vulnerabilidad en intervalos de ruptura natural. Identificando un total de cinco intervalos en función del nivel de vulnerabilidad, con valores que oscilan entre un mínimo de 0 y un máximo de 0,85. Su representación gráfica se hace mediante los colores empleados por Protección Civil en la confección de los mapas de riesgo, según las escalas estandarizadas a tal efecto. Así, el verde oscuro y el verde claro corresponden a índice muy bajo y bajo, mientras que el amarillo, naranja y rojo son expresión de valores moderado, alto y muy alto, respectivamente.

El resultado más significativo de la utilización del método propuesto es una clara diferenciación espacial del grado de vulnerabilidad. En este sentido, se constata la existencia de un índice muy alto, superior al 0,30 en enclaves puntuales con parcelas coincidentes con áreas inundables (MITECO, figura 4), cuyas avenidas son recogidas en la prensa. Se trata de los ubicados en el interior de Arona, en el entorno de la cuenca hídrica situada entre Fañabé y Torviscas, en Adeje, y en el frente marino y aledaños de las playas de El Bobo y del Beril en ese último municipio. Los núcleos con registros altos (0,15-0,30) son algo más frecuentes. Estos se localizan en las inmediaciones de la playa de Los Cristianos, en Arona pero sobre todo en Puerto Colón y playas de Fañabé, del Duque y La Enramada, en Adeje. La importancia tanto de la amenaza como la exposición es más que evidente en todos estos espacios indudables, aunque no se pueden olvidar los matices que incluye un elemento como la vulnerabilidad en cada uno de los elementos. En relación con ello, es evidente la influencia de la ocupación de laderas de pendiente más o menos pronunciada, de lo que son buena muestra las notables diferencias entre las parcelas urbanas que se asientan ladera arriba de la localidad de San Eugenio y las que lo hacen en la parta más alta de Fañabé. No obstante, aunque la pendiente constituye otro factor más a considerar, se aprecia con claridad que son otros agentes los que determinan en gran medida el valor final del índice, como la tipología de la parcela, el histórico de eventos y el número de servicios.

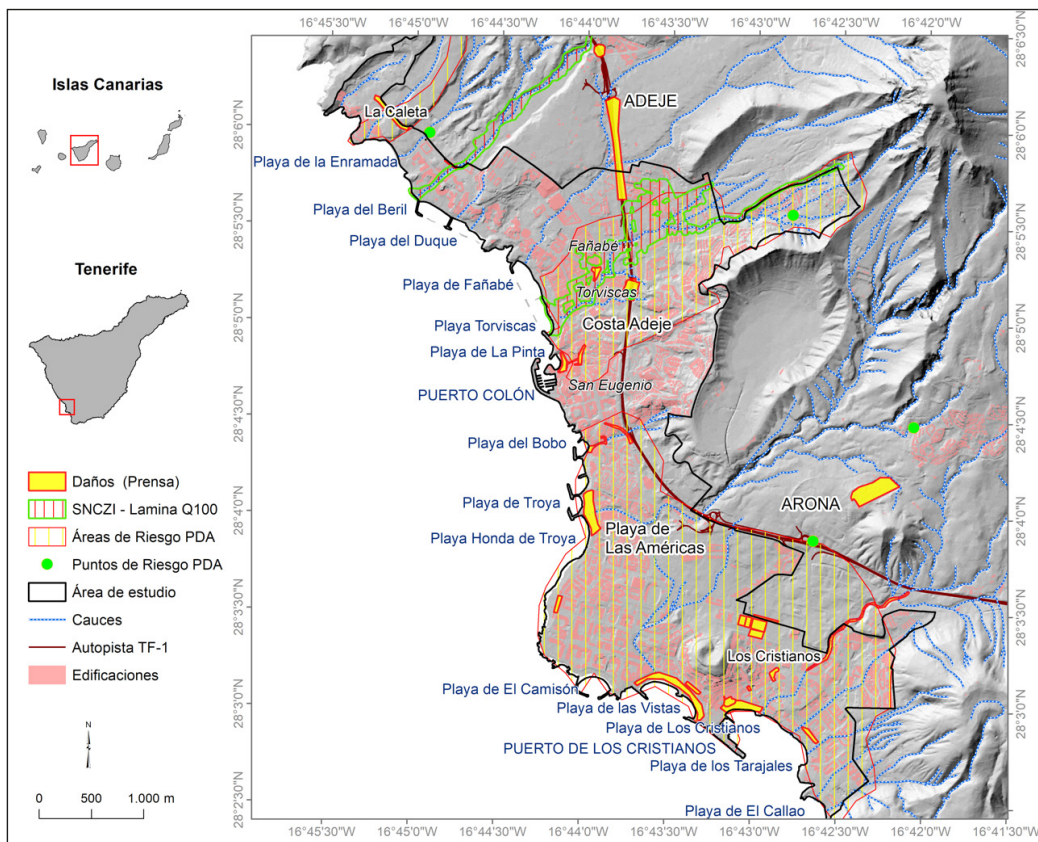


Figura 4. Áreas de amenaza-exposición en la costa de Arona y Adeje (SO de Tenerife). Fuente: PDA (2015), MITECO, Grafcan, IGN; Díaz-Pacheco *et al.*, 2019.

Lo más destacado es, en todo caso, la reducida vulnerabilidad de los sectores en los que se ubican los primeros asentamientos turísticos de Arona y Adeje, como Los Cristianos y Las Américas, respectivamente, aunque es posible que la antigüedad de las edificaciones haya podido condicionar el valor del índice objeto de cálculo. No obstante, son numerosas las gradaciones introducidas por la amenaza-exposición, la pendiente y, sobre todo, por los indicadores de vulnerabilidad. Y ello en un tejido urbano con una densidad edificatoria alta, que crece paralela a la línea de costa mediante la mezcla de tipologías constructivas (Tortosa-Esquembre, 2016), en un proceso de explotación intensiva del suelo falto, al menos en sus inicios, de planificación adecuada (Díaz-Pacheco *et al.*, 2019). La combinación de todos estos factores se concreta en una mayor repercusión económica de la ocupación turística, aforos, etc.

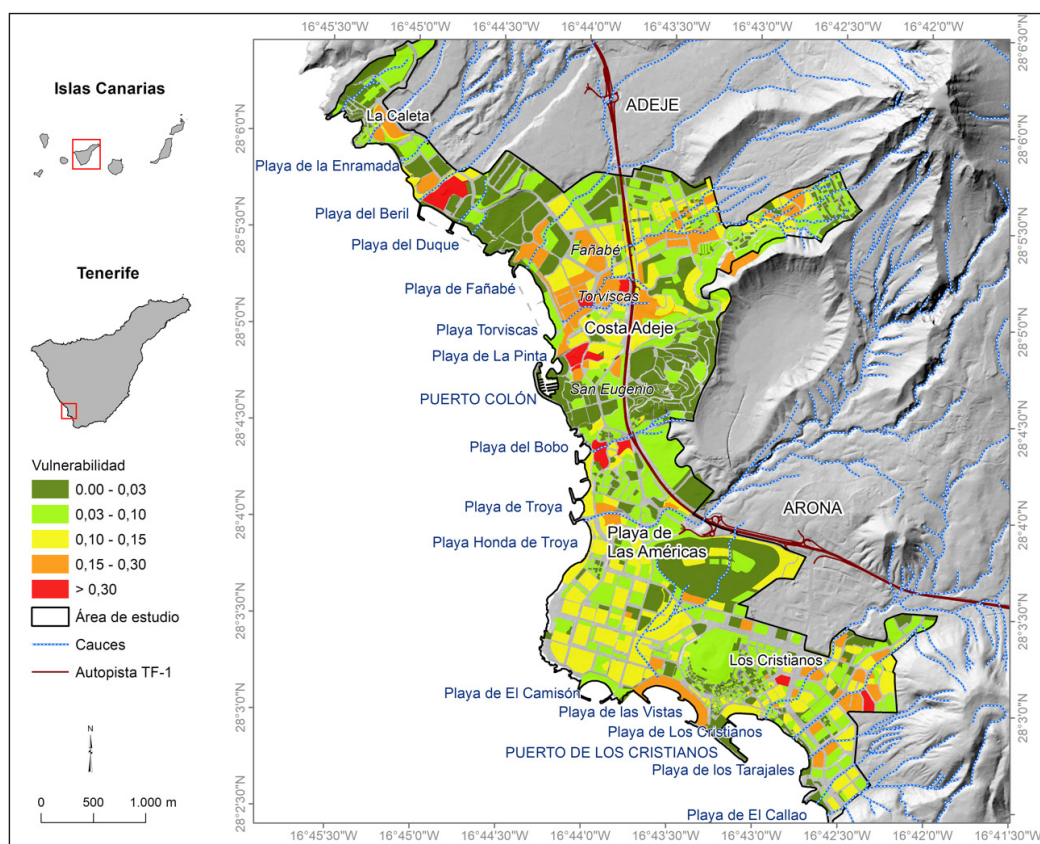


Figura 5. Índice de vulnerabilidad por riesgo de inundación a escala de parcela catastral en la costa de Arona y Adeje (SO de Tenerife). Fuentes: Dirección General del Catastro de SC de Tenerife, Cabildo de Tenerife, PDA (2015), IGN, Grafcan, Díaz-Pacheco *et al.*, 2019.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado un método sencillo de valoración y zonificación de la vulnerabilidad frente al riesgo de inundación en áreas turísticas costeras de espacios insulares, caracterizadas por una precipitación media anual muy baja, pero de intensidad acusada. Este hecho, unido a una urbanización acelerada por la presión turística, incrementa el factor de riesgo de inundación. El peligro en estos enclaves se relaciona con procesos supeditados a la transferencia de caudal en un contexto marcado por la ocupación de pequeños cauces y barranqueras, en los que se ha impuesto una disminución significativa de la capacidad de absorción del sustrato, conforme se ha transformado en pavimento urbano.

El método propuesto posibilita el establecimiento de claras diferencias de vulnerabilidad en unidades catastrales, con un índice que se puede calcular con datos e información disponible de fácil acceso.

Aunque no se haya efectuado el análisis habitual de las consecuencias y daños relacionados con el calado, así como con otros aspectos de naturaleza económica, los indicadores empleados caracterizan perfectamente la vulnerabilidad en este tipo de enclaves. El índice empleado contribuye, en definitiva, al planteamiento teórico a partir del cual abordar el análisis y diseño de acciones para planificar la evaluación y reducción del riesgo de inundación a escala local. Su interés es manifiesto en ámbitos costeros insulares, muy sensible a los impactos de las actuaciones antrópicas conforme se incrementa su utilización social. Uno espacios que son altamente vulnerables frente a los impactos del cambio climático, tanto por sus rasgos medioambientales como socioeconómicos, más aún cuando como en el caso del presente estudio poseen una alta dependencia de la actividad turística. En este contexto, el establecimiento de metodologías de evaluación de la vulnerabilidad, como la de esta investigación, puede contribuir a definir acciones concretas de adaptación al cambio climático, para evitar así la pérdida de competitividad y aumentar la resiliencia de destinos turísticos maduros, como el suroeste de Tenerife.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se inserta en el proyecto “Análisis del impacto de las inundaciones en áreas turísticas costeras: Canarias, laboratorio natural de resiliencia” (INTUCAN), que financia la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información del Gobierno de Canarias y los fondos FEDER.

REFERENCIAS

- AEMET (2018): Datos del observatorio meteorológico de Arona C427A.
- Aroca-Jiménez, E., Bodeque, J., García, J. y Díez-Herrero, A. (2018): A quantitative methodology for the assessment of the regional economic vulnerability to flash floods. *Journal of Hydrology*, 565, 386-399.
- Camarasa Belmonte, A. M., López-García, M. J. y Soriano García, J. (2008): Cartografía de vulnerabilidad frente a inundaciones en llanos mediterráneos: caso de estudio del Barranc de Carraixet y Rambla de Poyo. *Serie Geográfica - Profesora María de los Ángeles Díaz Muñoz, In Memoriam*, 14, 75-91.
- Cardona A. O. (2006): “Midiendo lo Inmedible” *Indicadores de Vulnerabilidad y Riesgo*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Cardona, O.D., Van Aalst, M.K., Birkmann, J., Fordham, M., Mcgregor, G., Perez, R., Pulwarty, R.S., Schipper, E.L.F., & Sinh, B.T. (2012): A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 65-108.
- Balica, S. F., Wright, N. G. & Van Der Meulen, F. (2012): A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural hazards*, 64(1), 73-105.

- Birkmann, J. (2007): Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental hazards*, 7(1), 20-31.
- Burton, I., Kates, R. & White, G. (1993): *The environment as hazard*. UK, Guilford press.
- De León, V., y Carlos, J. (2006): *Vulnerability: a conceptual and methodological review*. Germany, UNU-EHS.
- D'Ercole, R. y Metzger, P. (2004): *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Chile, AH/Editorial.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. y Roberts, S. (2004): *Quantifying social vulnerability: a methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Australia, Australian Government.
- Díaz-Pacheco, J., Yanes, A., López-Díez, A., Máyer, P., Dorta, P. (2019): Relación entre episodios de lluvia intensa y daños producidos por inundaciones en áreas turísticas costeras de clima árido: el Sur de Tenerife (1980-2018), En Durán, R., Guillén, J. y Simarro, G. (Eds), *X Jornadas de Geomorfología Litoral. Libro de ponencias* (pp. 17-30) Castelldefels, (ICM) Libros y partes de libros
- Füssel, H.-M. & Klein, R.J.T. (2006): Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic Change*, 75, 301-329.
- IPCC, 2014: 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, 1132 pp.
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International yearbook of cartography*, 7, 186-190.
- Jiménez, F., Velásquez, S. y Faustino, J. (2004): Análisis integral de la vulnerabilidad a amenazas naturales en cuencas hidrográficas de América Central. *VI Semana Científica (Resúmenes)*. Turrialba, CR, CATIE, 50-53.
- Kereszturi, G., Geyer, A., Martí, J., Németh, K. & Dóniz-Páez, J. (2013): Evaluation of morphometry-based dating of monogenetic volcanoes — a case study from Bandas del Sur, Tenerife (Canary Islands). *Bulletin of Volcanology*, 75-734: 1-19.
- López-Díez, A.; Máyer, P.; Díaz-Pacheco, J.; Dorta, P. (2019): Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain). *Atmosphere*, 10, 809.
- Macías González, F. (2017): *La problemática ambiental de urbanizaciones turísticas costeras: el ejemplo de Puerto Rico-Amadores, Gran Canaria (España)*. Tesis Doctoral dirigida por Pérez-Chacón, E., Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Repositorio (CRIS). < <http://hdl.handle.net/10553/54052>> (consulta: 20/01/2020).
- Mccarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. & White, K.S. (2001): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. *Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mapama (2015): *Guía para la Elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático*. Tecnalia. Victoria-Gazteiz.

- O'Brien, K., Sygna, L., Leinchenko, R., Adger, W.N., Barnett, J., Mitchell, T., Schipper, L., Tanner, T., Vogel, C. & Mortreux, C. (2008): *Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security*. GECHS Report 2008:3, Global Environmental Change and Human Security, Oslo, Norway.
- Pérez-Chacón, E. Hernández-Calvento, L. y Yanes, A. (2007): Transformaciones humanas y sus consecuencias sobre los litorales de las Islas Canarias. En Etienne, S. et Paris, R. (Eds): *Les littoraux volcaniques. Une approche environnementale*. Clermont-Ferrand, Press Universitaires Blaise-Pascal, 173-191.
- PDA (2015): *Plan de Defensa contra Avenidas*. Cabildo Insular de Tenerife. CIATF. INCLAN.
- Polsky, C., Schröter, D., Patt, A., Gaffin, S., Martello, M.L., Neff, R., Pulsipher, A. & Selin, H. (2003): *Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight-Step Approach*. Belfer Center for Science and International Affairs Working Paper, Environment and Natural Resources Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Rashed, T., & Weeks, J. (2003): Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576.
- Roig, Fco., Prieto, J. A. M., Perea, A. R., Mir-Gual, M., y Pons, G. X. (2011): La gestión ambiental de los sistemas playa-duna: el caso de las Islas Baleares, En Sanajume, E. y Gracia, F.J. (Eds.): *Las dunas en España*. Cádiz, Ed. S.E.G. 683-699.
- Ruiz Pérez, M. (2011): Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe: una aproximación desde la geografía del riesgo. Tesis Doctoral dirigida por Gutiérrez Puebla, J y Grimalt Gelabert, M. Madrid, Universidad Complutense, Repositorio. <<https://eprints.ucm.es/12850/>> (consulta: 20/01/2020).
- Schröter, D., Polsky, C. & Patt, A. G. (2005): Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(4), 573-595.
- Undro (1991): *Mitigating natural disasters: Phenomena, effects and options: A manual for policy makers and planners*. UN. Office of the Disaster Relief Co-Ordinator. Nueva York, US.

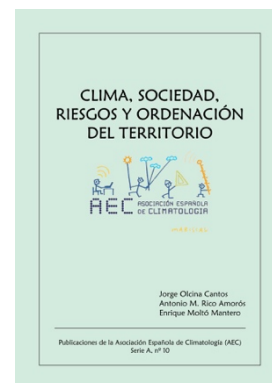
Cómo citar este artículo:

Díaz Pacheco, J., López Díez, A., Yanes Luque, A., Dorta Antequera, P., Máyer Suárez, P. (2020). Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife). *Cuadernos de Geografía*, 104, 87-106. <https://doi.org/10.7203/cguv.104.16570>



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0 Internacional.

II.1.7. Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias



Autores/as: **Abel López Díez**, Pedro Dorta Antequera, Miguel Febles Ramírez, Jaime Díaz Pacheco

DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-50>

CITA: López Díez, A.; Dorta Antequera, P.; Febles Ramírez, M.; Díaz Pacheco, Jaime. Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias. Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio M; Moltó Mantero, Enrique (eds.). Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio. Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante; [Sevilla]: Asociación Española de Climatología, 2016. Pp. 535-544.

ISBN: 978-84-16724-19-2

Código QR para acceso:



X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio
DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-50>

LOS PROCESOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPACIOS INSULARES: EL CASO DE CANARIAS

Abel LÓPEZ DÍEZ¹, Pedro DORTA ANTEQUERA¹, Miguel FEBLES RAMÍREZ²,
Jaime DÍAZ PACHECO¹

¹Universidad de La Laguna. Cátedra "RRD. Ciudades Resilientes".

²GEODOS, Planificación y Servicios S.L.

alopezd@ull.es, pdorta@ull.es, miguelfebles@geodos.es, jdiazpac@ull.es

RESUMEN

Los efectos del cambio climático constituyen uno de los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad. Cada vez son más las evidencias científicas que los constatan, manifestándose a través de algunas variables climáticas, especialmente las temperaturas. Estos cambios 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 economías locales. Los mencionados efectos están, por tanto, requiriendo la implementación de acciones de adaptación territorial al cambio climático.

A través de una exploración de antecedentes se exponen los principales estudios vinculados con el cambio climático, en este caso enfocados a una región insular atlántica, como las Islas Canarias que, además, presentan una gran complejidad en términos económicos y sociales. En este sentido, este estudio, no sólo revisa aquellas cuestiones relacionadas con las variaciones ambientales producidas por el cambio climático, sino que además realiza un análisis de las diferentes medidas de adaptación que hasta ahora han sido efectuadas en dichas islas.

Palabras clave: adaptación, cambio climático, Islas Canarias, vulnerabilidad.

ABSTRACT

The climate change effects are one of the major problems that the society is currently facing. The scientific evidences observed through climatic variations, specially the increasing of temperatures, are already proving it. These changes are occurring at present and they are the prelude to a process that will be developed at medium and long term, and whose impacts on sectors such as tourism can be a major constraint for local economies. The aforementioned effects are therefore, requiring the implementation of actions for land adaption to climate change. Through an exploration of history major studies are discussed with relation to the climate change, and in this case, focused on an Atlantic island region, the Canary Islands. These islands present a huge complexity in economic and social terms.

In this regard, this study not only reviews questions relating to environmental variations caused by climate change, but also an analysis of different adaptation measures that have so far been implemented in these islands.

Key words: adaptation, climate change, Canary Islands, vulnerability.

 Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez son más las evidencias científicas que constatan un calentamiento del sistema climático, sirva de referencia que el año 2015 fue el más caluroso desde que se registran datos de temperatura, o la serie de siete meses consecutivos hasta abril de 2016 batiendo récords de temperatura media planetaria. Todo ello hace prever que 2016 será aún más cálido que su predecesor. Asimismo, este progresivo calentamiento tiene como su principal causa la injerencia humana sobre el sistema natural, tal y como evidencia el Quinto Informe del IPCC (2013). En este contexto, se hace necesario conocer los posibles riesgos y efectos derivados del cambio climático con el fin de adoptar las medidas y respuestas necesarias enfocadas a la mitigación y adaptación ante este fenómeno. Mientras la mitigación está enfocada a la reducción de los gases efecto invernadero, la adaptación constituye el proceso de ajuste de la sociedad a las variaciones climáticas tanto actuales como futuras. Este hecho provoca que la adaptación sea un elemento clave a tener en cuenta en la planificación económica y territorial de una región.

El cambio climático pese a ser un problema global, debe entenderse como una cuestión multiscalar y multisectorial, aspecto éste que se encuentra reflejado en los documentos de consenso internacional, que se han desarrollado de una manera creciente en las últimas décadas hasta la actualidad; véase, por ejemplo, el reciente Acuerdo de París o el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres, ambos de 2015. Estos documentos plantean cuestiones globales y propuestas de acción que suelen estar dirigidas a los países pero, en última estancia, son las entidades locales las que, en gran medida, deben implementar acciones de mitigación y adaptación de manera directa. En este sentido, dichas entidades locales empiezan a demandar marcos de actuación, herramientas, medios e instrumentos, para abordar y tratar las cuestiones asociadas al cambio climático donde, además, suelen ser más débiles e incompletos (Held, 2012). Desde una perspectiva multisectorial las respuestas frente al cambio climático han de integrar a los diferentes actores sociales y económicos, tanto privados como públicos siendo, esto último, esencial para que los procesos de adaptación y mitigación sean efectivos.

Los espacios insulares poseen una gran fragilidad ambiental, social y económica, pudiendo presentar alteraciones significativas ante el cambio climático. La transformación de estos aspectos en el caso de la región macaronésica y, en especial, de Canarias, supone transformaciones tanto en las condiciones climáticas como en el incremento de los riesgos territoriales, derivados de un previsible aumento de la peligrosidad ante determinados fenómenos meteorológicos. De esta manera, algunos de los efectos constatados para las Islas Canarias pueden amenazar a la principal actividad económica de las islas, el turismo. Una actividad que en un escenario de cambio climático futuro debe adaptarse si quiere mantener la actual competitividad (Olcina, 2012).

La adaptación ante el cambio climático es específica del lugar y del contexto de un territorio, por ello es imprescindible el conocimiento y desarrollo de bases científicas a escalas de mayor precisión espacial que permitan determinar con exactitud los posibles efectos e impactos asociados. De este modo, en este trabajo, se presenta, en una primera parte, un estudio acerca de las principales evidencias científicas consta-

tadas que están afectando a una región específica, la Macaronesia. Luego se exploran los mencionados marcos, instrumentos, herramientas y medidas de adaptación que se están llevando a cabo en una entidad geográfica dentro la citada región, como son las Islas Canarias. Finalmente, se expondrán una serie de conclusiones que procuran construir un escenario que permita vislumbrar el punto en el que se encuentra una región insular, en lo que se refiere al conocimiento de los efectos territoriales del cambio climático y de las medidas implementadas en cuanto a la adaptación.

2. FUENTES Y MÉTODO

El siguiente trabajo aborda un estudio de los principales antecedentes sobre cambio climático en la región macaronésica. Para ello se ha recurrido a un profundo análisis de revisión bibliográfica, analizando dos líneas subsecuentes que interaccionan a diferentes escalas:

1. Las consecuencias globales del cambio climático y las medidas de adaptación propuestas a través de paneles intergubernamentales.
2. Los efectos locales del cambio climático y la adopción de medidas concretas de adaptación, tomando como caso un espacio insular.

Dentro de la escala local, se realiza una exploración de referencias científicas vinculadas con el cambio climático observadas en la región macaronésica. Por un lado, para reconocer en qué grado las manifestaciones del cambio climático están teniendo lugar en la región, y qué efectos derivados del calentamiento global comienzan a ser corroborados científicamente. Posteriormente, se examina, a través de publicaciones e informes instituciones, cuál es el desarrollo de medidas de adaptación al cambio climático que se han realizado a escala internacional, nacional y regional.

3. CONTEXTO GEOGRÁFICO

El Atlántico norte suroriental es un espacio geográfico de gran interés climático por situarse en una región de transición entre la circulación templada y la tropical. La región de la Macaronesia engloba cinco archipiélagos, pertenecientes a tres países, y la integran más de 40 islas e islotes, además de territorios de la costa africana subtropical. Las islas macaronésicas presentan similitud geológica y biogeográfica, de origen volcánico y relieve complejo, comparten tipos de flora y fauna adaptada a condiciones climáticas comunes, con una alta biodiversidad. En este sentido, los espacios insulares exhiben un gran interés como laboratorios en cuanto a la mitigación y adaptación frente al cambio climático (Tomé, *et al.*, 2014) y, Canarias en particular, supone un excelente observatorio natural para el análisis de variabilidad en los patrones de circulación para el Atlántico Norte (García Herrera, *et al.*, 2001). No obstante, es una región no bien conocida por la ausencia o carencia significativa de información meteorológica.

Los principales rasgos climáticos del archipiélago canario quedan definidos por su posición latitudinal subtropical y su situación en el Atlántico oriental, muy cerca de la costa africana y del desierto más cálido y extenso del planeta, el Sáhara. Térmicamente las islas presentan valores medios muy suaves por la presencia de la corriente fría de Canarias. Pluviométricamente un total de precipitaciones, en general, muy

modesto por la estabilidad atmosférica predominante. Sin embargo, la presencia de un complejo y vigoroso relieve, sobre todo en las cinco islas más occidentales, crea importantes discontinuidades térmicas y pluviométricas. Esto, unido a la proximidad del Sáhara y a la llegada de depresiones templadas, en ocasiones profundas y muy bajas en latitud puede generar extremos atmosféricos muy marcados. Así, los valores tanto de las temperaturas máximas extremas como las máximas precipitaciones diarias son similares a los registrados en la Península Ibérica.

Al mismo tiempo, Canarias es uno de los territorios de mayor densidad demográfica no sólo de España, sino de toda Europa. Las dos islas centrales, Tenerife y Gran Canaria, poseen valores superiores a los 400 y 500 hab/km² respectivamente. Además, a los más de 2 millones de residentes, se añaden todos los años más de 13 millones de turistas, asentados casi en su totalidad, en la franja costera. Toda esta población depende energéticamente del petróleo, que supone más del 95% de la producción eléctrica en las islas. Por todo lo expuesto, desde una perspectiva socioeconómica, Canarias se muestra como un territorio de una elevada vulnerabilidad frente al calentamiento global, entendido en un sentido amplio, tanto en lo que se refiere a mitigación como, y sobre todo, a adaptación.

4. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN MACARONÉSICA

Los sucesivos informes del IPCC han señalado durante los últimos 25 años el alcance y la evolución del calentamiento global. Los datos en el Atlántico Norte suroccidental, en el que se encuentra la región macaronésica, evidencian también que este sector no es ajeno al mismo. La temperatura, sobre todo, y la precipitación, en menor medida, son los elementos climáticos más estudiados. En cuanto a las temperaturas, ya diversos trabajos científicos afirman su ascenso generalizado (Martín *et al.*, 2012; Luque, *et al.*, 2014, Cropper, 2013, Cropper and Hanna, 2013), especialmente pronunciado desde mediados de los años 70 y más significativo en las temperaturas nocturnas y la alta montaña, tal y como ocurre en otros espacios insulares similares (Díaz *et al.*, 2011). Además, los análisis estadísticos de tendencia pluviométrica, aunque mucho más complejos en esta región, debido a la gran irregularidad de las precipitaciones y a la variabilidad topográfica, comienzan a sugerir un cambio en los patrones de circulación y una disminución de los totales pluviométricos con algo más de relevancia durante el otoño (Mayer *et al.*, 2015). Se debe tener en cuenta que Canarias posee altísimos coeficientes de variación e índices de concentración de la precipitación (Mayer y Marzol, 2014). Aún así son varios los trabajos publicados al respecto que analizan diversos aspectos en las tendencias o con relación a fenómenos de teleconexión climática como la NAO (García-Herrera *et al.*, 2003; Mayer *et al.*, 2015; Tarife *et al.*, 2012).

En este sentido, sobre el comportamiento de la presión se ha analizado la relación entre la NAO y las condiciones climáticas sobre el archipiélago (García Herrera, *et al.*, 2000; Cropper and Hanna, 2013) e indirectamente, la circulación de los vientos alisios. Otros aspectos tratados son el ascenso del nivel del mar (Fraile Jurado *et al.*, 2014) y el cambio en la temperatura superficial del mismo. En ambos casos con tendencias positivas, como en el resto del planeta, donde se ha estimado un ascenso de 0,19m durante el periodo 1901-2010 (IPCC, 2013). Uno de los principales condicionantes

climáticos del ámbito macaronésico es la corriente fría de canarias, cuya modificación asociada al calentamiento puede derivar en alteraciones climáticas significativas, tanto en la intensificación o debilitamiento de la misma como en la variación general del patrón de vientos dominantes (Semedo *et al.*, 2016).

En los últimos años se han sucedido una serie de eventos graves en cuanto a daños y víctimas, provocados por la aparición de fenómenos meteorológicos extremos, algunos de los cuales podrían estar influenciados por el calentamiento global. Es el caso de varias olas de calor con valores térmicos que han superado ampliamente los máximos registrados hasta la fecha o precipitaciones de gran intensidad horaria (Dorta, 2007, López *et al.*, 2015), con extremos que han llegado, incluso, a duplicar los máximos registrados y a superar periodos de retorno de más de 500 años. Además, se debe tener en cuenta que al Oeste de Cabo Verde se haya una región donde se originan las tormentas y ciclones tropicales más intensos que afectan al Caribe y a América del Norte (Cropper, 2013). Aunque es cierto que sólo muy puntualmente estos se han acercado a la Macaronesia, recientemente, algunos de ellos ha seguido trayectorias centradas en el Atlántico oriental afectando a los archipiélagos de Azores, Maderia y Canarias, como son los casos de Delta en otoño de 2005 o Nadine en otoño de 2012 (Brown, 2013). No se debe olvidar, en este sentido, que las proyecciones presentadas por el IPCC (2013) inciden en la alta probabilidad de que se intensifiquen los fenómenos meteorológicos extremos con el incremento de la temperatura atmosférica y oceánica.

5. LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Han sido múltiples los hitos en la reciente historia vinculados a las políticas medioambientales y el clima, desde el inicio con el Protocolo de Montreal (1989), la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático (1992), el Protocolo de Kyoto adoptado en 1997 o el Acuerdo de Copenhague (2009). Sin embargo, las políticas vinculadas con la adaptación han ido desarrollándose de forma lenta aunque constante hasta la actualidad. Uno de los referentes en el desarrollo de la adaptación, se deriva de la COP11 (2005) en Montreal con el “*Programa de trabajo quinquenal sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de los efectos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático*” asentando las bases para la implantación de los procesos de adaptación a todas las escalas y definiendo unos resultados y programas de trabajo, siendo el precursor mediante el cual se desarrollará el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de España (PNACC). No obstante, no será hasta la celebración de la COP13 (2007), cuando las políticas de adaptación empiecen a tener mayor protagonismo a través de la “*Hoja de Ruta de Bali*” donde se establece que los procesos de negociación vinculados con la CMNUCC deberán centrarse en cuatro pilares, uno de ellos la adaptación. Con la COP16 en 2010 y el desarrollo del “*Marco de Adaptación de Cancún*”, se crea el “Comité de Adaptación”, que pretende impulsar todas aquellas acciones destinadas a promover la adaptación, como por ejemplo, desarrollando planes nacionales de adaptación. Este Marco establece un punto de inflexión entre las políticas de mitigación y adaptación, donde estas últimas toman una mayor importancia por primera vez.

Los esfuerzos hasta la fecha para lograr la estabilización y reducción de las emisiones de GEI para evitar interferencias en el sistema climático han sido poco eficientes, como se evidencia con la publicación del Quinto Informe del IPCC. Por tanto, cada vez más, se hace más necesaria la adopción de medidas enfocadas, sobre todo, a la adaptación. Ante esta situación y mediante la aprobación del Acuerdo de París, el 12 de diciembre de 2015 en la COP21, se genera el documento marco que sustituye al protocolo de Kioto y que define los objetivos a nivel mundial para dar una respuesta eficaz al cambio climático, donde la adaptación adquiere mayor importancia (Art. 2,6,7,9). En el mismo ámbito internacional, recientemente se adoptó el “*Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres*” por la Oficina para la Reducción del Riesgo de Desastres de Naciones Unidas (UNISDR, 2015) un instrumento que incorpora el cambio climático como un factor desencadenante del riesgo de desastres, especificado de manera directa en sus cuatro prioridades. Asimismo, se determina la adaptación al cambio climático como una pieza básica en las medidas para reducir de forma eficaz los riesgos tanto directos como indirectos del calentamiento global.

Uno de los referentes dentro del ámbito internacional son los reportes del IPCC sobre adaptación al cambio climático, desarrollados desde el segundo de los informes publicado en 1995, hasta el último de 2014 “*Impactos, Adaptación, y Vulnerabilidad*”, definiendo los principales efectos vinculados con el cambio climático y las medidas a implementar según los contextos espaciales y los riesgos esperados.

En Europa las políticas de acción sobre el cambio climático han ido dirigidas, casi en su totalidad, a la mitigación. Un buen indicador de ello son las numerosas directivas y decisiones encaminadas a reducir y controlar los GEI, así como a implementar el uso de energías limpias. De este modo, los procesos de adaptación a nivel europeo no se impulsan hasta 2009 con el libro blanco “*Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación*”, donde se establecen, por primera vez, unos objetivos y medidas a nivel comunitario para el estímulo de la adaptación. Posteriormente, en 2010, con la creación de la Dirección General de Acción contra el Clima, la adaptación comienza a desarrollarse de una manera más fehaciente. Este ente se encarga entonces de generar documentación como “*La estrategia europea de adaptación al cambio climático*”. Con todo ello, las políticas europeas vinculadas con el cambio climático siguen, en la actualidad, centralizadas en la mitigación, a través de la confección de un marco normativo encaminado a la reducción de los gases de efecto invernadero y el control del agujero de ozono.

En España, tanto el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) como el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MIEyT) son los competentes en la materia. De estos ministerios dependen los principales organismos destinados al desarrollo de acciones frente al cambio climático. Con la creación en 1992 de la Comisión Nacional del Clima se genera el primer órgano nacional destinado al estudio, asesoramiento e implementación del 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 crea la Oficina Española del Cambio Climático (OECC), siendo el principal organismo destinado al desarrollo de las acciones vinculadas con el cambio climático. Es a partir de su creación cuando se efectúan las primeras acciones sobre adaptación en España, como la elaboración en 2006 del

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). La OECC trata de integrar las políticas de adaptación general en políticas sectoriales. En este contexto se aprueban normas nacionales donde se empiezan a integrar aspectos de mitigación y la adaptación al calentamiento global, como es el caso de la Ley 21/2013, de evaluación ambiental o el muy reciente Real Decreto Legislativo 7/2015 de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

A escala nacional existen más organismos destinados de una forma directa e indirecta al desarrollo de acciones vinculadas con el cambio climático, como la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático o la Comisión Nacional de Energía entre otros. De la misma forma, cabe destacar que se han desarrollado acciones con implicaciones en la adaptación al cambio climático como en 2007 la “Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia”, o la “Estrategia local de cambio climático” elaborada por la Red Española de Ciudades por el Clima.

6. LA ADAPTACIÓN EN LAS ISLAS CANARIAS

En el de la Comunidad Autónoma de Canarias, el eje central de la lucha institucional contra el cambio climático es la “Estrategia Canaria de Lucha contra el Cambio Climático” (ECLCC), desarrollada por el Gobierno de Canarias (Resolución 7L/CG-0010). En esta el Parlamento de Canarias insta al Gobierno de Canarias a implementar las medidas incluidas en la ECLCC, como la creación de la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático (ACDSCC). La ECLCC aprobada en el año 2009, tiene como pilares fundamentales un plan de mitigación, organizado y estructurado desde la propia ECLCC y un plan de adaptación, definiendo los criterios para su desarrollo posterior. Se debe resaltar la alusión expresa que realiza la ECLCC a la relación directa entre desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático, dando continuidad al esfuerzo legislativo realizado a principios de la década de los años 2000 con la aprobación de las Directrices de Ordenación General y Directrices de Ordenación del Turismo de Canarias (Ley 19/2003).

El objetivo del Plan de Mitigación es la reducción de GEI para los años 2010 y 2015, una disminución dirigida a determinados sectores estratégicos a través de un conjunto de medidas de carácter horizontal. Muchas de estas medidas son retomadas, tanto de documentos legales, como las Directrices de Ordenación del Territorio, como de otros Planes ya aprobados y que desarrollaban, en mayor o menor medida, acciones enfocadas a la mitigación, como es, entre otros, el Plan Energético de Canarias 2006-2015. El Plan de Mitigación, tenía previsto como instrumentos de seguimiento y evaluación por un lado el desarrollo de un inventario canario de emisiones de gases de efecto invernadero y la revisión, cada cuatro años, de la propia ECLCC. En 2008 se elaboró el primer y único inventario de GEI, resultado de un trabajo de análisis de información, así como de consulta con las Administraciones competentes y de aportaciones por entidades privadas, en particular las pertenecientes al sector industrial; dentro del marco del “*Proyecto Clima Impacto*”.

Para la finalización de la ECLCC, así como para el desarrollo instrumental de la misma, se constituyó en el 2009 la ACDSCC. En el preámbulo de la ley se reconoce la complejidad de las tareas que ésta debe abordar, así como el necesario cambio de cultura, de políticas y formas de actuar. En este escenario se justifica que el menciona-

do organismo tenga carácter autónomo, dotándola de cierta relevancia y un marcado carácter transversal. Entre sus funciones no sólo se encontraba la redacción de la ECLCC, sino también liderar el proceso de redacción de los planes de actuación y otros instrumentos de orientación, coordinación, planificación y programación del proceso, incluyendo el seguimiento a través de la elaboración de indicadores y el desarrollo de un sistema de información que sirva como base para la formulación de un diagnóstico ambiental de Canarias cada tres años. Esta Agencia es la que comienza los trabajos relativos a la implementación del “*Plan de Adaptación al Cambio Climático*”. El desarrollo de este instrumento se realiza a partir de un conjunto de estudios previos en el periodo 2009-2011, quedando esbozado un documento que recoge una selección de medidas, métodos de trabajo, herramientas, así como los organismos y sectores con responsabilidad para llevar a cabo las medidas propuestas. El documento no finalizado, planteaba la necesidad del desarrollo sectorial del plan, a través de tres ejes; la implantación de medidas, la integración de la adaptación en las políticas de la Comunidad y un plan económico de las acciones de adaptación.

Este plan planteaba la incorporación de otras iniciativas ya existentes como el Foro Canario para el Desarrollo Sostenible, cuyo funcionamiento estaba previsto a través de comisiones, entre las que se encontraba una con exclusiva dedicación al Cambio Climático; o el Observatorio del Desarrollo Sostenible, como instrumento científico y técnico de evaluación y seguimiento de las políticas, planes y programas de desarrollo sostenible en el Archipiélago; ambas bajo el paraguas administrativo de la ACDSCC.

El desarrollo de la ECLCC queda paralizado en 2011. La ACDSCC se encuentra entre el conjunto de entes públicos que desaparecen 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 la actualidad se está procediendo a una revisión profunda de la legislación sobre ordenación del territorio en Canarias, fundamentado en el Anteproyecto de Ley del Suelo de Canarias que tiene como principio fundamental de desarrollo sostenible. Este Anteproyecto de Ley que establece la derogación de gran parte de las directrices de la Ley 19/2003, tendrá consecuencias directas sobre la ECLCC, así como sobre sus dos pilares fundamentales: Plan de Mitigación y Plan de Adaptación al Cambio Climático.

Realizado un repaso por el marco normativo de canarias sobre el gobierno del cambio climático, hay que señalar que en los últimos años se han implementado iniciativas vinculadas indirectamente con el 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.*”

7. CONCLUSIONES

El cambio climático es uno de los mayores problemas territoriales a los que se enfrenta la sociedad. Cada vez son más las evidencias científicas que corroboran variaciones en el sistema climático y la región macaronésica no es una excepción: ya se

empiezan a evidenciar cambios significativos en determinados elementos del sistema climático, como las temperaturas o el régimen pluviométrico.

Tanto a escala internacional como nacional se está generando un amplio marco de normas y recomendaciones asociadas con la adaptación. Nuevas normas nacionales, como la Ley de Evaluación Ambiental, incorporan ya análisis de planes y proyectos relativos a la adaptación al cambio climático. Sin embargo, se observa la existencia de un vacío metodológico a la hora de llevar a cabo estos análisis. Las Islas Canarias han centralizado en la ECLCC las acciones asociadas con el cambio climático. La Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático ha sido el ente encargado de elaborar los planes de mitigación y adaptación, unos planes cuyo desarrollo quedo paralizado en 2011, hecho que ha provocado que apenas se hayan impulsado políticas de adaptación al cambio climático en las islas más allá de las acciones ya comentadas. Todo ello, en un contexto territorial que presenta una gran vulnerabilidad y exposición a los efectos y riesgos derivados del cambio climático. A través de este estudio se concluye que se requiere de grandes esfuerzos que permitan implementar las mencionadas acciones y, sobre todo, que estén vinculadas a procesos de alcance basados en participación e integración de todos los agentes. Esto, en última instancia es lo que permitirá desarrollar mejores sistemas de gobernanza local proactiva respecto al cambio climático.

REFERENCIAS

- Brown, D. (2013). Tropical Cyclone Report Hurricane Nadine. National Hurricane Center.
- Cropper, T.E. (2013). The weather and climate of Macaronesia: past, present and future. *Weather*. Vol.68, N.11, pp. 300–307. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/wea.2155>
- Cropper, T. E., Hanna, E. (2013). An analysis of the climate of Macaronesia, 1865-2012. *International Journal of Climatology*. Vol. 34, N. 6, pp. 604-622.
- Díaz, F., Giambelluca, T., Eischeid, J. (2011). Changes in the vertical profiles of mean temperature and humidity in the Hawaiian Islands. *Global and Planetary Change*, Vol. 77, N.1, pp. 21-25.
- Dorta, P. (2007). Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenazas y vulnerabilidad. *Geographicalia*, Vol. 51, pp. 33-160.
- Fraille-Jurado, P., Rodríguez, E., Fernández, M., López, M., Torres, J. (2014). Estimación del comportamiento futuro del nivel del mar en las Islas Canarias a partir del análisis de registros recientes. *Geographicalia*, Vol. 66, pp. 79-98.
- García-Herrera, R., Gimeno, L., Hernández, E., Prieto, R., Ribera, P. (2000) Reconstructing the North Atlantic atmospheric circulation in the 16th, 17th and 18th centuries from historical sources. *Climate research*, Vol. 14, N. 2, pp. 147-151.
- García-Herrera, R., Gallego, D., Hernández, E., Gimeno, L., Ribera, P. (2001). Influence of the North Atlantic oscillation on the Canary Islands precipitation. *Journal of Climate*. Vol 14, pp. 3889-3903.
- García-Herrera, R., Gallego, D., Hernández, E., Gimeno, L., Ribera, P. (2003). Precipitation trends in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*. Vol. 23, pp. 235-241. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.870>

- Held, D., Hervey, A. Theros, M. (Eds). (2011). *The Governance of Climate Change*. Cambridge: Science, Economics and Ethics. Polity Press.
- Máyer, P., 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*, Vol. 65, pp. 231-247.
- Máyer, P., Marzol, M. V., Parreño, J.M. (2015). Tendencias de la precipitación en Canarias”, Estudio, en aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas (II Workshop), M^a. C. Cabrera, T. Cruz-Fuentes, V. Mendoza-Grimón y M^a P. Palacios-Díaz (Eds.), Instituto Geológico y Minero de España y Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Las Palmas de Gran Canaria.
- 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*. Vol 112, N. 2, pp. 343-355. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-012-0407-7>
- López, A., Dorta, P., Romero, C., Díaz, J. (2015). Movimientos de ladera en Canarias. El caso del Macizo de Anaga en el temporal de febrero de 2010. Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación. Universidad de Zaragoza-AGE. pp. 1725-1734.
- Luque, A., Martín, J., Dorta P., Mayer, P. (2014) Temperature Trends on Gran Canaria (Canary Islands). An Example of Global Warming over the Subtropical Northeastern Atlantic. *Atmospheric and Climate Sciences*. Vol. 4 N. 1, 2014, pp. 20-28. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.41003>.
- Olcina, J. (2012). Turismo y cambio climático: una actividad vulnerable que debe adaptarse. *Investigaciones Turísticas*. N. 4, pp. 1-34.
- Semedo, A., Soares, P., Lima, D., Cardoso, R., Bernardino, M., Miranda, P. (2016). The impact of climate change on the global coastal low-level wind jets: EC-EARTH simulations. *Global and Planetary Change*, Vol. 137, pp. 88-106.
- 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.
- Tomé, R., Miranda, P., Brito de Azevedo, E., Teixeira, M. A. (2014). Climate Change in Small Islands. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. Vol. 16, p. 9056.

II.1.8. La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático



Autores/as: Jaime Díaz Pacheco, **Abel López Díez**, Pedro Dorta Antequera

DOI: <https://doi.org/10.15366/ntc.2017>

CITA: Díaz Pacheco, J.; López Díez, A.; Dorta Antequera, P. La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático. En Allende, F; Cañada, R; Fernández-Mayoralas, G; Gómez, G; López, N; Palacios, A; Rojo, F. Y Vidal M.J. (eds.) (2017) Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global. Actas. XXV Congreso de la Asociación Española de Geografía, Madrid, Dpto. Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid y Ediciones UAM. Pp 629-638.

ISBN: 978-84-8344-612-6

Código QR para acceso:





LA EVALUACIÓN LOCAL DEL RIESGO PARTICIPATIVA (ELRP) COMO INSTRUMENTO DE APOYO A LOS PROCESOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Jaime Díaz-Pacheco¹, Abel López-Díez², Pedro Dorta-Antequera³

¹Universidad de La Laguna, Cátedra 'RRD. Ciudades Resilientes', Plaza del Rector D. José Carlos Alberto Betancort, Campus de Guajara, 38071, La Laguna. jdiazpac@ull.es

²Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía, Plaza del Rector D. José Carlos Alberto Betancort, Campus de Guajara, 38071, La Laguna. alopezd@ull.es

³Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía, Plaza del Rector D. José Carlos Alberto Betancort, Campus de Guajara, 38071, La Laguna. pdorta@ull.es

RESUMEN

Dentro de las acciones socio-territoriales de adaptación al cambio climático se encuentra el desarrollo de mecanismos de respuesta que permiten: a) la adaptación al aumento de la temperatura, el ascenso del nivel del mar y las variaciones de la precipitación; y b) la reducción y la gestión de los riesgos asociados que puedan experimentar los eventos meteorológicos extremos (frecuencia, intensidad y duración) (UNISDR, 2010).

En el marco de la reducción y gestión del riesgo de desastres, se señala la evaluación del riesgo como una de las tareas básicas para comprender y entender las condiciones que generan un posible desastre. Su cometido fundamental es valorar la relación de las diferentes amenazas (tormenta, sequía, movimientos de ladera...) con la vulnerabilidad y la exposición de las personas, sus bienes, las infraestructuras y el medioambiente. En estas evaluaciones, la participación de agentes locales en los procesos de análisis, contribuye a la integración socio-territorial en los procesos de comprensión interactiva para la reducción del riesgo y la adaptación climática.

En este trabajo se expone el resultado de experiencias locales participativas de evaluación del riesgo, como base para el desarrollo de estrategias de reducción de la vulnerabilidad y mejora de la capacidad social de adaptación y percepción del riesgo de desastres en un contexto de cambio climático.

Palabras clave: riesgo de desastres, cambio climático, adaptación, resiliencia, evaluación participativa del riesgo

ABSTRACT

Within the socio-territorial actions for climate change adaptation we find the development of response mechanisms that allow: a) adaptation to the increase on temperature, the sea level rising, and the rainfall alteration; and b) the reduction and management of the related risks that the unpredictable meteorological events undergo (frequency, intensity and duration) (UNISDR, 2010).

In the framework for disaster risk reduction, the risk assessment is aimed as one of the basic tasks to understand the conditions previous to disasters. Its main goal is to assess the relation between the hazards (storms, droughts, landslides...) and the vulnerability of people, environment, assets, and infrastructure exposed. The participation of local agents on the assessment, contributes to the socio-territorial integration through processes of interactive comprehension of risk reduction and climate adaptation.

This work presents the results of local participative experiences on risk assessment, as the base for developing vulnerability reduction strategies, and the improvement of social capacity on disaster risk perception and adaptation.

Keywords: disaster risk reduction, climate change, adaptation, resilience, participatory risk assessment

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los procesos socioeconómicos se incluyen las acciones que denominamos de mitigación y adaptación al cambio climático (CC). Los procesos socioeconómicos de mitigación se dirigen sobre todo a las medidas que se ponen en marcha para reducir las emisiones de carbono y los gases de efecto invernadero con el objetivo de atenuar el calentamiento global. En cambio las acciones de adaptación a los riesgos derivados del CC tienen por objeto implementar transformaciones en los procesos socioeconómicos que reducen la vulnerabilidad de las personas, la economía y el medioambiente, además de aprovechar las oportunidades asociadas al CC global (Füssel, 2007). La adaptación parte de las evidencias de que el calentamiento global y sus efectos ya están teniendo lugar y que se prevé, podrán tener continuidad, durante muchos años, antes de que cualquier medida de mitigación llegue a conseguir, en el mejor de los casos, una ralentización de los cambios en el sistema climático global. Por ello, si en un principio la atención se enfocó en las acciones de mitigación, hoy en día las estrategias de adaptación han tomado una enorme importancia (Füssel, 2007; Schmidt-Thomé, 2006, Vries, 2006).

La adaptación al CC puede ser abordada desde diferentes perspectivas y en diversos contextos. Uno de ellos es la aproximación a los tipos de amenazas climáticas, en lo que se refiere a los cambios observados o esperados en el comportamiento “normal” del clima, la variabilidad climática y los ambientes extremos (Füssel, 2007). Esta aproximación encaja muy bien en lo que el Grupo de Trabajo II, del quinto informe de evaluación del panel intergubernamental sobre CC (IPCC), enmarca dentro del enfoque de la adaptación en torno al concepto del riesgo de desastres¹. El riesgo, en este caso, se expresa como el resultado de la interacción de las amenazas relativas al clima, la vulnerabilidad y la exposición de las personas y los sistemas naturales. Por tanto, las variaciones en el sistema climático (naturales o inducidas por el hombre), así como los procesos socioeconómicos, ambas cuestiones están directamente vinculadas con las amenazas climáticas, la vulnerabilidad y la exposición y, por tanto, con el riesgo climático y el impacto de los desastres derivados (IPCC, 2014).

Siguiendo el anterior planteamiento, dentro de los principales papeles que desarrolla la ciencia en los procesos de adaptación, Smit et al (1999) distinguen, entre otros, uno relacionado con la estimación de los impactos; y otro que abarca la evaluación de las opciones de respuesta. Este trabajo presenta y explora de manera experimental, el empleo de la evaluación local del riesgo de desastres participativa (ELRP), como una acción de adaptación dentro del espectro de aquellas en las que se incluyen en la estimación de impactos. En este sentido, si prestamos atención a la definición que, por consenso internacional, se da al proceso de evaluación del riesgo de desastres: *Enfoque cualitativo o cuantitativo para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de las posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que conjuntamente podrían causar daños a las personas, los bienes, los servicios, los medios de vida y el medio ambiente del cual dependen* (ONU, 2016), se observa la relación directa que esta evaluación tiene con los procesos de adaptación socio-económica al CC. Además, siguiendo a Füssel (2007), otra dimensión clave de la adaptación es la existencia de diversidad de actores, es decir, un amplio rango de personas, que provienen a su vez de diferentes entornos y circunstancias, tanto del ámbito público como del privado. Estas personas pueden tener percepciones contrapuestas del riesgo o del CC, y además pueden verse afectadas de diversas maneras. Por tanto, su interacción en un proceso de evaluación facilitado por la academia parece incrementar su grado de concienciación respecto al riesgo climático, así como a la reducción de su vulnerabilidad.

Los métodos de ELRP de desarrollo e implementación en los países desarrollados, no presentan un marco metodológico rico, al menos en experiencias demostradas, si bien su uso se promueve desde marcos

¹ El concepto riesgo “de desastres” (ONU, 2016) se explicita para diferenciarlo de otros contextos o tipos de riesgo, como el riesgo financiero, el riesgo alimentario, el riesgo laboral, etc.

Díaz Pacheco, Jaime, López Díez, Abel, Dorta Antequera, Pedro

La evaluación local de riesgos participativa (ELRP) como herramienta de apoyo a los procesos de adaptación al CC

internacionales, europeos y nacionales (UNISDR, 2005; UNISDR, 2015; UE, 2015; BOE, 2015). El propio sistema de protección civil español establece dar “la máxima participación ciudadana al planificar e implantar actuaciones ante las emergencias” (BOE, 2015). Sin embargo, informes del Ministerio del Interior han señalado que el propio sistema de protección *estuviera en una evolución hacia la exclusión o, al menos, la no inclusión de los ciudadanos, en lo que respecta al comportamiento frente a las emergencias* (García et al, 2015) lo cual es probable que, entre otros factores, esté indicando una alto desconocimiento de los riesgos con los que la sociedad convive.

Este trabajo se concibe entonces como la exploración de métodos para la ELRP, como un proceso socioeconómico e inclusivo de adaptación al CC, donde en un contexto local: (1) se identifican las amenazas que pueden estar afectadas por el CC; (2) se profundiza en la estimación de posibles impactos de estas amenazas a través de un proceso participativo en el que; (3) se produce la interacción entre distintos actores, expertos locales, academia, sector privado y sociedad civil; (4) se localizan geográficamente los elementos vulnerables afectados por el impacto de alguna de estas amenazas; y (5) se activa un proceso de integración en torno a la reducción de la vulnerabilidad local.

2. METODOLOGÍA Y FUENTES

2.1. Métodos para la evaluación participativa del riesgo

La evaluación del riesgo de desastres, tal y como ha sido definida en la introducción, es un proceso de naturaleza cuantitativa o cualitativa a través del que se determina el alcance del impacto de una amenaza. Se analizan las condiciones previas que vienen en gran medida determinadas por la vulnerabilidad y la exposición de las personas, sus bienes y los sistemas naturales. Generalmente a los procesos participativos se le atribuye un carácter cualitativo, pero esto no es necesariamente aplicable en todos los casos de ELRP. En este caso concreto que presentamos, la ELRP puede incorporar análisis cuantitativos, como cálculos de periodos de retorno de una amenaza concreta, bien durante el proceso participativo, o bien durante una fase posterior. En este último caso, la parte científica involucrada puede realizar modificaciones en las estimaciones, sobre todo cuando se detectan fenómenos sociales de simplificación o amplificación del riesgo (Pidgeon y Kasperson, 2003). La esencia del método y el éxito de las aproximaciones participativas, en contraposición con los métodos exclusivamente de “gabinete técnico”, están más relacionadas con lo que sucede durante el proceso que con el producto de la evaluación.

Para el desarrollo de la ELRP presentada en este trabajo, se han combinado principios de algunos métodos de evaluación participativa, como la investigación-acción participativa (Salazar, 1992) y la evaluación rápida participativa (Anderson and Woodrow, 1989), que a veces encontramos como PRA (Participatory Rapid Appraisal) o RRA (Rural Rapid Appraisal) (Chambers, 1983, 1994). Ambas metodologías no están inicialmente diseñadas específicamente para la evaluación del riesgo, pero tanto sus principios como sus objetivos, sobre todo en el caso de PRA, se adaptan bastante bien a las metas que persigue la ELRP. Además de esta metodología, también se han seguido ejemplos de otras experiencias de aplicación más específica, en ocasiones referidas como evaluaciones de riesgo basadas en la comunidad, o CRA (Community based Risk Assessment).

Por último, con respecto a los métodos de referencia, la ELRP desarrollada se identifica sobre todo con el término expresado como evaluación del riesgo de desastres participativa, o PDRA (Participatory Disaster Risk Assessment), que surge a partir de un taller de trabajo desarrollado en Ciudad del Cabo en 2006 sobre CRA (Pelling, 2007).

Del concepto metodológico de acción participativa esta ELRP asume, sobre todo, las capacidades que ofrece la construcción del conocimiento a partir de la interacción entre diversos agentes. Estas personas, reunidas en

torno al riesgo de desastres en su localidad, combinan sus perspectivas individuales, generando conocimiento compartido. Este hecho se da también en la evaluación rápida participativa (PRA), que, orientada a trabajar realidades rurales y urbanas, se dirige a identificar los problemas principales y a planificar posibles acciones concretas sobre los mismos (Lagunas-Vázquez et al, 2008). La substancia común de estas metodologías es la capacidad que se les atribuye a ambas para fortalecer el empoderamiento local. Todo ello, en base a la asunción de un papel activo en el análisis de las propias condiciones de vida, de sus problemas y potencialidades. En el caso de la ELRP, la atención se focaliza en el riesgo de desastres y, sobre todo, en el descubrimiento de posibles vulnerabilidades frente a los riesgos evaluados. El proceso de identificación de amenazas climáticas y de las debilidades de los elementos expuestos a estas, puede conformar el comienzo de un proceso de adaptación a los efectos del CC.

Los métodos mencionados y revisados para el desarrollo de evaluaciones del riesgo de desastres basadas en la comunidad (CRA) o participativas (PDRA), suelen ser de reflexión teórica como en el caso del documento de trabajo proporcionado por Pelling (2007). Para encontrar experiencias prácticas para desarrollar las ELRPs presentadas en este trabajo, las referencias más útiles han sido documentos y guías de trabajo de ONGs que desarrollan estos instrumentos de aplicación como las proporcionadas por La Cruz Roja (IFRC, 2006). Estos a su vez, fueron identificados a través de trabajos de revisión de experiencias, como el de Van Aalst (2008), sobre el rol potencial de las comunidades locales para la adaptación al CC a través de la evaluación participativa del riesgo.

2.2. El desarrollo de la ELRP

La ELRP se desarrolla de manera muy similar a una evaluación de riesgos convencional, si bien se incorporan procedimientos que permiten la participación de agentes, su interacción, métodos de consenso y también de aprendizaje. En el proceso se reconocen siete etapas que se describen a continuación:

2.2.1 Mapeo de agentes para ELRP

En esta etapa previa se identifican todos los agentes y grupos locales de interés, priorizando aquellos que tienen mayor relación con la gestión de las emergencias, pero tratando de incorporar la representación del máximo número de actores posible. De manera general, se distinguen cinco grandes grupos: gobierno local, sociedad civil, responsables de seguridad, emergencias y protección civil, empresas y colegios profesionales, academia y ciudadanía.

Se realiza una distinción entre ciudadanía y sociedad civil, entendiendo esta última como grupos que corresponden o representan a un sector organizado de la ciudadanía, como ONGs, asociaciones, plataformas ciudadanas. En el caso de la ciudadanía, esta opción queda abierta a la identificación de personas que se suman al proceso de manera individual.

El mapeo de agentes no es exactamente un mapeo social como el que se lleva a cabo en los métodos de investigación-acción participativa (Martí, 2000), ya que el objetivo es aglutinar un número óptimo que va desde las 40 a las 80 personas, que tengan: (1) relación local directa con la planificación y gestión de los riesgos y de las emergencias (gobierno local, protección civil, servicios locales de emergencias); (2) representantes de asociaciones y otro tipo de plataformas representativas, que además de aportar datos e información, luego puedan servir de canalizadores y catalizadores del conocimiento adquirido en su ámbito asociativo; (3) que formen parte del tejido productivo y empresarial, por un lado porque sufren las consecuencias de los impactos de las amenazas, como puede ser el sector agrícola, y por otro, porque sean empresas clave para el mantenimiento de los medios de vida, como las empresas productoras de energía o aquellas que gestionan el agua u otros servicios esenciales; (4) que tengan conocimiento sobre los riesgos, las amenazas, la

Díaz Pacheco, Jaime, López Díez, Abel, Dorta Antequera, Pedro

La evaluación local de riesgos participativa (ELRP) como herramienta de apoyo a los procesos de adaptación al CC

vulnerabilidad, los sistemas de alerta temprana, etc. a nivel técnico o académico; y (5) que tengan experiencia de vida (expertos locales) en la localidad o el área geográfica donde se está realizando la ELRP.

2.2.2 Consenso sobre la terminología de uso común

En esta etapa el proceso de evaluación, que puede durar varias jornadas, ya ha comenzado. El investigador maneja una terminología que debe ser asimilada por los participantes, aunque el modo de llegar a ella se realiza por consenso. Existen unos términos de referencia descritos y proporcionados por la Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR, 2009). A través de un ejercicio de diálogo y aprendizaje grupal, que parte del conocimiento previo de los agentes, se alcanza un consenso general, en el que las definiciones de consenso internacional se exponen como una más. El objetivo es que al final de la actividad, todos los participantes tengan el mismo concepto de lo que son los términos básicos que entran en juego en la evaluación (riesgo, amenaza, elemento vulnerable, emergencia, desastre...).

2.2.3 Identificación de las amenazas locales e inventario de desastres

Una vez acordado el lenguaje común en torno a los conceptos elementales empleados en la evaluación del riesgo, los participantes, agrupados aleatoriamente para tratar de elevar el nivel de interacción e intercambio de percepciones entre distintos agentes, identifican, primero de manera individual y luego de manera consensuada, las amenazas que podrían afectar al área geográfica sobre la que se está trabajando. Además, de manera conjunta se realiza un inventario de grandes emergencias y/o desastres² que hayan tenido lugar en la zona. Este ejercicio da pistas orales a los investigadores para luego realizar exploraciones históricas pero, sobre todo, el registro de desastres; también dirige al grupo a detallar las amenazas. Tormentas, incendios forestales, contaminación, movimientos de ladera... son algunos ejemplos.

2.2.4 Identificación de amenazas afectadas por el CC

En la evaluación de riesgos se identifican múltiples amenazas que, además, suelen ser clasificadas de acuerdo a su origen y naturaleza (geomorfológica, volcánica, climática, antropogénica, etc.). Adicionalmente, se realiza otro ejercicio para identificar aquellas amenazas sensibles al CC. Todo ello, teniendo en cuenta que este proceso está diseñado para que tenga utilidad práctica en los procesos socioeconómicos de adaptación al CC.

2.2.5 Identificación de elementos vulnerables

Dentro de la evaluación de riesgos, una parte fundamental es el análisis de la vulnerabilidad frente a las posibles amenazas y frente a las consecuencias de un posible impacto o situación de estrés. En el proceso de ELRP desarrollado, este aspecto se incluirá en la fase de evaluación del riesgo a través de estimación de las consecuencias de posibles impactos. Sin embargo, en esta etapa se realizan unos ejercicios participativos, también de consenso, para tratar de identificar aquellos elementos vulnerables, los cuales resultan imprescindibles para el mantenimiento de los servicios esenciales y el funcionamiento de una comunidad o un municipio.

2.2.6 La localización y el análisis del riesgo

Si bien bajo el enfoque de la ELRP desarrollada, el análisis de la vulnerabilidad se realiza a través de la estimación de los posibles daños o consecuencias, dentro del proceso se incorpora una actividad esencial cuyo objetivo es que los agentes participantes, en primer lugar, localicen y tomen conciencia de la localización

² Dentro del marco de un plan de emergencias, se piensa no sólo en el término "desastre", sino en el propio término "emergencia". La única diferencia entre ambos conceptos es que la emergencia puede ser atendida con medios locales y el desastre es un evento que supera la capacidad local de respuesta.

geográfica de las amenazas y de los elementos vulnerables en el espacio y, en segundo lugar, asimilen de manera interactiva la esencia de la construcción del riesgo, que es la coincidencia geográfica del impacto de una amenaza en el territorio y un conjunto de elementos vulnerables expuestos a la misma. Para ello, sobre un mapa base del área geográfica de estudio, se trazan áreas de posible afección de amenaza y se localizan elementos vulnerables, como edificaciones, centros educativos, centros de coordinación, antenas de comunicación, etc. (los elementos identificados en la etapa anterior). El fondo de esta fase es, además de localizar espacialmente los riesgos, tomar conciencia del significado del índice de riesgo de desastres tal y como hoy se asume por convención internacional (UNISDR, 2011): $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$.

2.2.7 La evaluación del riesgo dentro de la ELRP

Para la realización de la ELRP, se aplica el denominado índice de riesgo estadístico (IR) (IUGS, 1997), realizado a través de ponderaciones participativas sobre el Índice de Probabilidad (IP) y la valoración de los daños esperados, Índice de Daños Previsibles (ID); con la siguiente fórmula: $\text{IR} = \text{IP} \times \text{ID}$.

Este método, adaptado de acuerdo a recomendaciones de la UE (European Commission, 2010), se aplica a esta ELRP. Su particularidad es que se enfoca en los posibles impactos y no tiene en cuenta la probabilidad de la amenaza. Es decir, si existe el riesgo, se trabaja sobre sus posibles impactos, diferenciando daños a personas, medioambiente, infraestructuras, e impactos sociales, políticos y económicos. El criterio base utilizado consiste en usar: 1) la información sobre el impacto de eventos o desastres históricos que han afectado a la ciudad, y que pueden repetirse de nuevo; y 2) en el caso de no disponer de esta información, o ser incompleta, se utilizaría la información sobre desastres que han afectado a territorios de características geográficas y socioeconómicas similares al área geográfica de estudio. Para asignar el grado del impacto de cada una de las amenazas se utiliza una escala de evaluación de 1 a 5: (5) Muy alto, (4) Alto, (3) Medio, (2) Bajo, y (1) Muy bajo.

Para cada uno de estos impactos se identifican los posibles elementos afectados y se establece una descripción o rango que facilite la asignación del grado del impacto, mediante valores cuantitativos o cualitativos. Todo ello se incorpora en una matriz que facilita el proceso de evaluación.

Para realizar la evaluación se selecciona una amenaza y se toma como referencia el posible evento o escenario razonable que puede impactar en el municipio. Se comienza a evaluar por cada tipo de impacto, asignando a cada uno de los elementos el grado de impacto estimado (de 1 a 5). Se entiende que al seleccionar un grado, los valores inferiores ya están también incorporados. Una vez realizada la evaluación de todos los elementos, se procede a determinar el grado general de impacto de la amenaza; para ello se toma el valor máximo asignado en la evaluación detallada por cada uno de los elementos (de 1 a 5). El sistema es flexible, puesto que permite añadir o sustituir elementos presentes en cada ciudad o municipio, adaptándolo a cada ámbito de evaluación.

Para fijar el principal impacto que producen los desastres, el efecto a personas, se ha utilizado la capacidad de gestión, o más propiamente, el concepto de resiliencia, medido por valores cuantitativos disponibles del impacto del desastre que ha sufrido el área geográfica en estudio. La resiliencia, si bien en otros contextos se enfoca sobre todo a la capacidad de adaptación, dentro del contexto de desastres se refiere sobre todo a la capacidad local de gestionar con relativa solvencia, mediante la atención de víctimas, el restablecimiento de los servicios esenciales, y la recuperación de la normalidad en un corto periodo de tiempo de la localidad o el

Díaz Pacheco, Jaime, López Díez, Abel, Dorta Antequera, Pedro

La evaluación local de riesgos participativa (ELRP) como herramienta de apoyo a los procesos de adaptación al CC

municipio. Este valor se ha establecido como grado de impacto medio o igual a 3, y a partir del cual se pondera el resto de grados en más o en menos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de la ELRP ha sido desarrollado y aplicado en diferentes áreas geográficas a escala local, aprovechando la oportunidad de la elaboración de Planes de Emergencia Territoriales Municipales, para la Comunidad Autónoma de Canarias. Los planes territoriales de emergencia deben contar, de acuerdo a la normativa autonómica (BOC, 2015) con una evaluación de riesgos a escala municipal. Entonces, los resultados y la discusión aquí planteada se basan en la aplicación de la ELRP en seis municipios de las Islas Canarias: Santa Cruz de Tenerife (203.585 hab); Agulo (1.074 hab); Güímar (19.000 hab); El Rosario (17.191 hab), San Juan de la Rambla (4.910 hab) y La Guancha (5.423 hab). De esta manera, los ejemplos y circunstancias expuestas corresponden a distintas etapas de los procesos de ELRP llevados a cabo en estas localidades.

Los productos o resultados derivados de las ELRP se han clasificado en dos tipos, aquellos de carácter tangible, como la valoración del riesgo, o los mapas resultantes y otros que hemos denominado intangibles, debido a su dificultad para ser valorados y que se estiman por apreciaciones de los participantes en la ELRP, donde el investigador tiene un papel principal como facilitador y observador del proceso.

3.1 Resultados de carácter tangible

El primero de ellos es el relacionado con los procesos de “aprendizaje compartido” sobre la terminología básica empleada con relación a la ELRP. El éxito de las etapas posteriores da cuenta de la información adquirida por los participantes. La responsabilidad de extraer un concepto, primero a través de la reflexión individual y luego en un trabajo de consenso, para terminar siendo apoyado por el uso de los términos aceptados por consenso internacional, parece conducir a una eficaz interiorización de los conceptos. Al concluir la primera etapa de la ELRP, todos los agentes conocen el significado del riesgo de desastre y como se compone a través de las amenazas, combinadas con la vulnerabilidad y la exposición.

El siguiente producto que se materializa en la ELRP es el cuadro de identificación de amenazas y el reconocimiento de aquellas que pueden sufrir perturbaciones debido al CC. Este ejercicio también se acompaña de un listado de inventario de desastres que, además, ayuda a los agentes a ir registrando la vulnerabilidad del municipio frente a posibles amenazas. La distinción o la identificación de amenazas afectadas por el CC, excede generalmente al número de amenazas climáticas, piénsese por ejemplo en los “movimientos de ladera”. Generalmente estos se clasifican como amenaza geomorfológica, pero modificaciones de patrones de precipitación y temperatura, así como de las condiciones del sustrato, influyen en su aparición, por lo que los agentes suelen identificarla como amenaza afectada por el CC.

3.1 Resultados de carácter intangible

Además de los productos y resultados de la ERLP, a los que se ha hecho referencia como tangibles, luego encontramos una serie de réditos cuyo registro es más difícil de valorar de manera objetiva. Todos están relacionados con alguna dimensión de la vulnerabilidad de las personas, como la formación, la educación y la concienciación en torno a la gestión del riesgo y la autoprotección. El proceso de ERLP conforma una red local en torno al mismo proceso y alrededor del plan territorial de emergencias municipal, donde se integra. Los agentes que participan se convierten en comunicadores del riesgo en su asociación, comunidad, empresa o institución pública. Por ejemplo, los responsables de centros educativos que participan en la ERLP profundizan en la transversalidad propia del concepto del riesgo de desastres, conociendo directamente los resultados de

la evaluación y generando conciencia pero, además, aprendiendo a conocer pautas de actuación frente a las alertas por determinados fenómenos o amenazas.

La participación de multitud de agentes locales en la ERLP también estimula el diálogo y la interacción entre estos, creando además corresponsabilidad y empoderamiento en lo que respecta a las labores de reducción del riesgo de desastre y, por consiguiente, también respecto a la mitigación y adaptación al CC.

Por último, el ejercicio de ERLP al verse reflejado en el plan municipal de emergencias donde se integra, también funciona como un elemento en aceptación colectiva del propio plan por parte de los agentes participantes.

Los mapas resultantes de la etapa de localización del riesgo (amenazas y elementos vulnerables) también conforman un producto tangible de la ERLP, cuyas anotaciones y apreciaciones, una vez corroboradas, se suman a los mapas o modelos “técnicos” de riesgo que luego forman parte del plan territorial de emergencias municipal. Si bien, este es un ejercicio que, como ahora explicaremos, genera más valor de carácter intangible, también produce información muy valiosa a escala de detalle, la cual está relacionada con el conocimiento del territorio por parte de los agentes locales integrados en la ERLP.

La estimación del riesgo es el producto final de la ERLP y a través de la misma se establece la importancia estimada de cada uno de los riesgos en el municipio. Estas valoraciones son posteriormente analizadas por el equipo de investigación y el gabinete técnico del plan, para detectar, como se explicó en el apartado metodológico, posibles fenómenos de amplificación u omisión del riesgo. Este proceso, como el de localización del riesgo, también supone un ejercicio colectivo de concienciación. El resultado final es denominado ERLP integrada (combina trabajo participativo y trabajo de gabinete).

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología para el desarrollo de ERLP dirigida a la reducción del riesgo de desastres, pero integrada en el desarrollo de un plan municipal de emergencias. Se plantea la misma como una acción dentro de los procesos socioeconómicos de adaptación local al CC. Desde ésta, se trabaja con el concepto de fondo del riesgo de desastres, construido a través de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad-exposición, planteado por los grupos de trabajo del IPCC. Al mismo tiempo, se identifican las amenazas que pueden verse afectadas por el CC y se estiman las consecuencias del riesgo, además de localizarlo geográficamente. Todo el proceso se lleva a cabo de manera inclusiva, integrando el máximo de agentes locales, representantes de la sociedad civil, sector privado, gobierno local, academia y ciudadanía. La experiencia demuestra la posibilidad de interacción y consenso para la generación de información y conciencia en torno a las acciones de adaptación al CC, reducción del riesgo de desastres y de la vulnerabilidad. La ERLP se plantea como un complemento al trabajo técnico y científico en forma de conocimiento compartido para contribuir a generar sociedades con mayor capacidad de adaptación y recuperación ante los impactos, hacia lo que hoy denominamos resiliencia ante los desastres.

AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo y sus resultados son fruto de la colaboración inestimable de los municipios de Santa Cruz de Tenerife, Agulo, Güímar, El Rosario, San Juan de La Rambla y La Guancha, en los que se ha desarrollado la presente metodología, así como de todos los participantes en las diferentes jornadas y seminarios que se han ido celebrando. Por último, agradecer al promotor de UNISDR, D. Sebastián Martín Pérez su ayuda y colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, M. B., & Woodrow, P. J. (1989). *Rising from the ashes: development strategies in times of disaster*. UNESCO, Paris (France)

BOE (2015): Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil. BOE nº 164. España.

Díaz Pacheco, Jaime, López Díez, Abel, Dorta Antequera, Pedro

La evaluación local de riesgos participativa (ELRP) como herramienta de apoyo a los procesos de adaptación al CC

BOC (2015): DECRETO 98/2015, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Plan Territorial de Emergencias de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Canarias (PLATECA).

<<http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2015/104/006.html>> (acceso mayo 2017)

Chambers, R. (1982): Rural development: Putting the last first. London: Longman.

Chambers, R. (1994): The origins and practice of participatory rural appraisal. World development, 22(7), 953-969.

European Commission (2010): Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management. Commission Staff Working Paper, Brussels.

<https://ec.europa.eu/echo/files/about/COMM_PDF_SEC_2010_1626_F_staff_working_document_en.pdf>

Füssel, H. M. (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. Sustainability Science, 2(2), 265-275.

García, A. Ramos, R. Callejo, C. (2008): Riesgos y Catástrofes: actitudes y conductas en la sociedad española. Ministerio del Interior-Protección Civil de Emergencias. España.

IPCC (2014): Summary for policymakers. 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. 1-32.

IUGS (1997). Quantitative risk assessment for slopes and landslides—The state of the art. In: Cruden, D.M. and Fell. R. (Eds.), Landslide risk assessment. Balkema, Rotterdam

Lagunas-Vázquez, M. Beltrán-Morales, L. F. Urciaga-García, J. y Ortega-Rubio, A. (2008): Evaluación rural participativa: uso de los recursos naturales en la reserva de la biosfera El Vizcaíno, BCS, México. Economía, sociedad y territorio, 8(26), 451-476.

Kasperson, R. E. Renn, O. Slovic, P. Brown, H. S. Emel, J. Goble, R. ... y Ratick, S. (1988): The social amplification of risk: A conceptual framework. Risk analysis, 8(2), 177-187.

Martí, J. (2000). La investigación-acción participativa. Estructura y fases. La investigación social participativa. Construyendo ciudadanía/1. El viejo Topo. España. pp, 73-117.

ONU (2016): Informe A/71/644 del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres. Asamblea General de las Naciones Unidas

Pelling, M. (2007): Learning from others: the scope and challenges for participatory disaster risk assessment. Disasters, 31(4), 373-385.

Pidgeon, N. y Kasperson, R. E. (2003): The social amplification of risk. Cambridge University Press.

Salazar, M.C. Lewin, K. Tax, S. Stavenhagen, R. Fals, O. Zamosc, L. Kemmis, S. Rahman, A. (1992): La investigación-acción participativa: inicios y desarrollos. O.E.I.

Schmidt-Thomé, P. (2006): Integration of natural hazards, risk and climate change into spatial planning practices. Tesis Doctoral, Universidad de Helsinki, Finlandia, p.10.

<<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/geolo/vk/schmidt-thome/integrat.pdf>> (accesomayo 2017)

Smit, B., Burton, I., Klein, R. J., & Street, R. (1999): The science of adaptation: a framework for assessment. Mitigation and adaptation strategies for global change, 4(3), 199-213.

UE (2015): Risk Management Capability Assessment Guidelines. EU Commission Notice 2015/C261/03
<[http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015XC0808\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015XC0808(01))> (acceso mayo 2017)

UNISDR (2005): Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. Adoptado en Kobe, Hyogo (Japón) el 22 de enero de 2005
<<http://www.eird.org/cdmah/contenido/hyogo-framework-spanish.pdf>> (acceso mayo 2017)

UNISDR (2009): Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Naciones Unidas, Ginebra.
<http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf> (acceso mayo 2017)

UNISDR (2015): Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030: adoptado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015.
<https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf> (acceso mayo 2017)

UNISDR (2011): How to Make Cities More Resilient. A Handbook for Local Government Leader. Geneva.
<http://www.unisdr.org/files/26462_handbookfinalonlineversion.pdf>

Van Aalst, M. K. Cannon, T. y Burton, I. (2008): Community level adaptation to climate change: the potential role of participatory community risk assessment. *Global environmental change*, 18(1), 165-179.

Vries, de, J. (2006): Climate change and spatial planning below sea-level: Water, water and more water. in: *Planning theory & practice*, Vol. 7, no.2 p. 223–226.

II.1.9. La evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos

Autores/as: **Abel López Díez**, Jaime Díaz Pacheco, Pedro Dorta Antequera, Pablo Máyer Suárez

DOI: ARTÍCULO ENVIADO Y ACEPTADO PARA REVISIÓN

Código QR para acceso:



La evaluación del riesgo local como forma de adaptación al cambio climático en enclaves turísticos

Abel López Díez, Cátedra Universitaria de Reducción del Riesgo de Desastres y Ciudades Resilientes de la Universidad de La Laguna, alopezd@ull.edu.es, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3788-7402>

Jaime Díaz Pacheco, Departamento de Geografía e Historia de la Universidad de La Laguna, jdiazpac@ull.edu.es, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7448-5870>

Pedro Dorta Antequera, Cátedra Universitaria de Reducción del Riesgo de Desastres y Ciudades Resilientes de la Universidad de La Laguna, pdorta@ull.edu.es, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2112-4566>

Pablo Máyer Suárez, Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pablo.mayer@ulpgc.es, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7629-1129>

Autor designado como persona de contacto: Abel López Díez, alopezd@ull.edu.es, Facultad de Humanidades, Plaza del Rector D. José Carlos Alberto Bethencourt. A2-07. Código postal 38200. San Cristóbal de La Laguna. S/C de Tenerife

RESUMEN

La presente investigación afronta la evaluación del riesgo como una estrategia de adaptación al cambio climático. Para ello se ha desarrollado una metodología de análisis del riesgo a escala de parcela catastral en una de las principales áreas turísticas no sólo de las Islas Canarias sino también de España, el litoral de Arona y Adeje. El método fundamentado en los planteamientos de la *Oficina de Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastres* (UNDRO) y aplicado para las inundaciones con efecto de avenida, ha posibilitado definir de forma precisa los factores que intervienen en la formulación del riesgo. El empleo de los registros de incidentes del *Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad* (CECOES) 1-1-2 del Gobierno de Canarias, así como otras fuentes oficiales, ha permitido la caracterización de la amenaza. Del mismo modo para el estudio de la vulnerabilidad se ha empleado un índice resultante entre 0 y 1, derivado del cruce de múltiples indicadores socio-territoriales. Los resultados demuestran como las áreas estudiadas disponen del 52,4% de las parcelas con niveles de riesgo comprendidos entre “Moderados” y “Muy Altos”, destacando los núcleos de Torviscas, Las Américas y Los Cristianos. Finalmente se presenta el resultado del análisis de riesgo a través de una cartografía del riesgo de inundación, diseñada en última instancia como herramienta de adaptación para la futura toma de decisiones por parte de las diferentes administraciones locales.

Palabras clave: análisis del riesgo, inundación, turismo, vulnerabilidad, resiliencia, Islas Canarias.

ABSTRACT

This research studies risk assessment as an adaptation strategy to climate change. To do this, a risk analysis methodology has been developed at the cadastral parcel level in one of the main tourist areas of both the Canary Islands and Spain, the coast of Arona and Adeje. The method based on the approaches of the *United Nations Office for Disaster Relief (UNDRO)* and applied for floods, has made it possible to define precisely the factors involved in the formulation of risk. The use of the incident records of the *Coordinating Center for Emergencies and Security (CECOES) 1-1-2* of the Canary Islands Government, as well as other official sources, has allowed the threat to be characterized. Similarly, for the study of vulnerability, a resulting index between 0 and 1 has been used, derived from the crossing of multiple socio-territorial indicators. The results show how the studied areas have 52.4% of the plots with risk levels between “Moderate” and “Very High”, highlighting the towns of Torviscas, Las Américas and Los Cristianos. Finally, the result of the risk analysis is presented through a flood risk mapping, ultimately designed as an adaptation tool for future decision-making by the different local administrations.

Key words: risk analysis, flood, tourism, vulnerability, resilience, Canary Islands.

INTRODUCCIÓN

Resulta más que evidente que el cambio climático alterará la peligrosidad de las amenazas climáticas (IPCC, 2013), modificando, de este modo, los niveles de riesgo de éstas sobre el territorio. Esto ha dado lugar a que se reconozca la necesidad de emprender acciones que reduzcan las posibles pérdidas económicas y daños vinculados a los efectos del cambio climático. En este sentido, cada vez son más los documentos y acuerdos internacionales que ponen el énfasis en el desarrollo de acciones afines a la reducción del riesgo de desastres (RRD). El Acuerdo de París o el reciente Informe Especial 1,5°C del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), son tan sólo dos ejemplos que han evidenciado la urgencia de focalizar gran parte de los esfuerzos institucionales y económicos en la reducción de riesgos de origen climático.

A partir del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales 1990-1999 y los posteriores Marco de Hyogo (2005-2015) y Marco de Sendai (2015-2030), se configuró la actual fundamentación teórica en torno a la RRD. Unos planteamientos que han dado lugar un cambio de paradigma, desde las concepciones más tradicionales dirigidas hacia la respuesta o gestión del desastre, hasta los nuevos enfoques orientados a la gestión integral del desastre (Pelling, 2003; Blaikie, Cannon, Davis y Wisner, 2004) y a tratar el riesgo de desastres como un sistema complejo (Cardona, 2002; Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR), 2019). Estos nuevos enfoques, además, poseen la flexibilidad necesaria para incorporar un riesgo sumamente variable y que posee altos niveles de incertidumbre como el cambio climático (Solecki, Leichenko y O'Brien, 2011). Un fenómeno que tiene la capacidad de alterar tanto las condiciones climáticas como la variabilidad de los eventos extremos, afectando a los factores subyacentes del riesgo, generando nuevas amenazas y modificando los patrones de vulnerabilidad ya existentes; sea en las poblaciones, los medios de vida de las mismas, los ecosistemas que les sirven de sustento, o en la infraestructura económica y social. Todo ello propició que, en el Plan de Acción de Bali en la COP13, se considerara a la RRD como parte de las directrices necesarias para desarrollar las políticas de adaptación (López-Díez, Dorta, Febles y Díaz-Pacheco, 2016). Esta convergencia entre las áreas de la RRD y adaptación al cambio climático (ACC) se consolida con la publicación del Cuarto y, sobre todo, el Quinto Informe del IPCC donde la RRD se comprende como una parte fundamental de la adaptación. Esta idea se refleja en la publicación del documento en 2014 "*Climate Change: impacts, adaptation, and vulnerability*", donde se muestra como la RRD y la ACC están conectadas a través de un objetivo común: reducir los impactos de eventos extremos y el fomento de la resiliencia frente a los desastres, en aquellas áreas donde la vulnerabilidad es mayor. En definitiva, este enfoque, ampliamente desarrollado (Venton y La Trobe, 2008;

Prabhakar, Srinivasan y Shaw, 2009; Gero, Méheux y Dominey-Howes, 2011; Lavell *et al.*, 2012; Kelman, 2015) y fundamentado en la idea de gestión integral del riesgo como forma de adaptación al cambio climático permite abordar las tres dimensiones que compone la RRD: la identificación del riesgo; la prevención o reducción del riesgo; y, por último, el manejo del desastre tanto en lo que se refiere a respuesta como en la recuperación.

Dentro de las acciones insertas en la RRD y que dan respuesta a las dimensiones anteriormente citadas, la evaluación del riesgo constituye el primer aspecto a desarrollar (Narváez, Lavell y Pérez, 2009; Riddell, van Delden, Maier y Zecchin, 2019). Una evaluación que contempla dos elementos base, el análisis de la amenaza, así como su valoración sobre un territorio, entendiendo esta valoración como aquellos componentes territoriales (exposición y vulnerabilidad) sobre los que se materializa un peligro determinado (amenaza). Este planteamiento expresado en trabajos como el de Van Westen (2013), muestra gran similitud con el que presenta el IPCC en su Quinto Informe (IPCC, 2014) o la Guía para la Elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (Feliu *et al.*, 2015), donde el riesgo se deriva de la interrelación entre las amenazas de origen climático con la vulnerabilidad y exposición de los distintos subsistemas sociales, económicos y naturales. Estas evaluaciones, además, son especialmente útiles en aquellos sectores productivos que presentan una mayor vulnerabilidad y fragilidad frente a los impactos del cambio climático como es el caso del turismo (Tsai y Chen, 2011).

La actividad turística que tiene uno de sus principales espacios de desarrollo en los ámbitos costeros. Zonas que, además, han sido identificadas como uno de los espacios más vulnerables frente al cambio climático (IPCC, 2013), por ejemplo, como resultado del incremento del nivel del mar o episodios extremos como las precipitaciones intensas (López-Díez, Máyer, Díaz-Pacheco y

Dorta, 2019). Es en este marco, donde se reconoce la importancia de desarrollar evaluaciones de riesgos que permitan conocer los posibles impactos que puede conllevar el cambio climático sobre estas áreas turísticas (Roselló-Nadal, 2014; Scott, Hall y Gössling, 2016). Unas evaluaciones que, asimismo, están en consonancia con multitud de trabajos que manifiestan la necesidad de implementar estrategias de RRD como parte de los procesos adaptativos para abordar el posible impacto adverso del cambio climático sobre el sector y los destinos turísticos (Scott, de Freitas y Matzarakis, 2009; Day, Chin, Sydnor y Cherkauer, 2013; Jeuring y Becken, 2013; Olya y Alipour, 2015; King, Gurtner, Firdaus, Harwood y Cottrell, 2016; Lin *et al.*, 2017).

En línea con esta última idea, las medidas para la RRD en el sector turístico deben ir encaminadas, en primer lugar, hacia la evaluación del grado de exposición a las distintas amenazas de los destinos (inundación, ola de calor, ciclón tropical, etc.) y de las principales infraestructuras y equipamientos turísticos; en segundo lugar, hacia la reducción del riesgo; y, en tercer lugar, hacia la mejor preparación ante los eventos adversos (UNWTO, 1998; Becken y Khazai, 2017). Por ello, el conocimiento tanto de las amenazas como de las vulnerabilidades a los que se enfrenta un destino turístico resulta indispensable y prioritario para evitar, entre otros efectos, la pérdida de competitividad.

Partiendo de estas consideraciones el objetivo de este trabajo es proporcionar una metodología de evaluación del riesgo en un área altamente explotada desde el punto de vista turístico. Para ello se ha tomado como referencia un espacio litoral de la costa de Tenerife evaluando el riesgo para una de las principales amenazas del cambio climático en las islas en general, las precipitaciones intensas con efecto de inundación. De este modo se persigue presentar esta metodología como una acción indispensable para el diseño de políticas de adaptación a escala local.

CONTEXTO Y ÁMBITO DE ESTUDIO

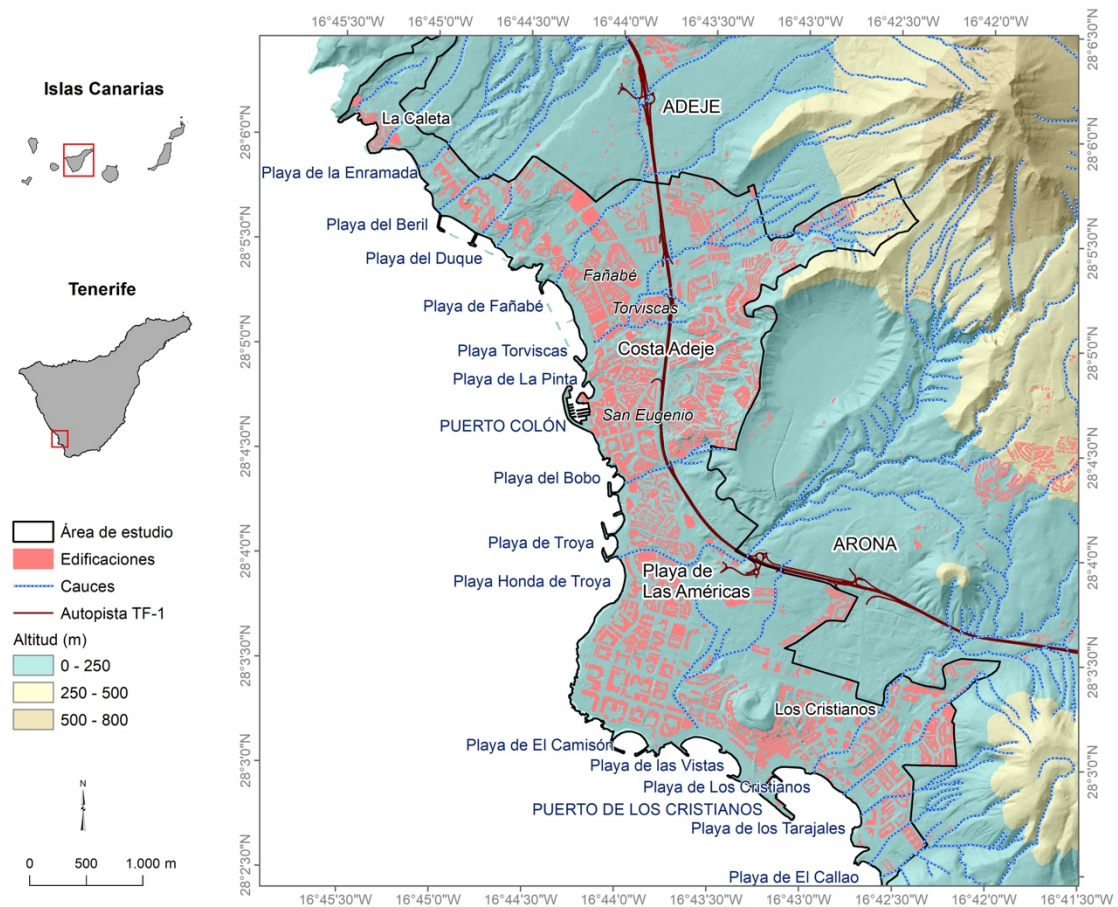
Canarias es la segunda comunidad autónoma española que más visitantes recibe. Según los datos del Instituto Canario de Estadística (ISTAC) el número de turistas que visitaron las islas en 2019 fue de 15.095.585. Este volumen de turistas similar al de países como Portugal, tiene su reflejo en el importante papel que juega dicha actividad en la economía del archipiélago, suponiendo el 35% del Producto Interior Bruto, el 40% del empleo y el 35% del total de los impuestos que se recaudan. Del total de turistas, Tenerife fue la isla que mayor volumen recibió, un 38%, hospedándose, la mayoría de ellos, en las urbanizaciones turísticas del litoral suroeste de la isla. Este importante número de visitantes se relaciona, principalmente, con las condiciones climáticas de este sector, tratándose de uno de los territorios con más horas de sol y menor pluviosidad²⁰ no sólo de España sino también dentro del propio archipiélago. Unas condiciones climáticas que conforman el principal reclamo para los turistas.

Por estos motivos el área seleccionada para este trabajo (Figura 1) corresponde con los núcleos turísticos de Arona y Adeje que albergan una oferta alojativa de 91.266 plazas (ISTAC, 2018). Este espacio cuenta con 16,2 km² de superficie, que se extienden a lo largo de una franja ubicada entre los 180 metros de altitud y el mar. Aquí se concentra la mayoría de los núcleos de población y ocio de los dos municipios. La longitud de su litoral es de 19,1 km. En él se suceden casi sin interrupción núcleos residenciales, paseos marítimos, terrazas turísticas, playas regeneradas de modo artificial, diques de contención de arenas y obras portuarias. Todo ello es exponente de una litoralización inusitada, tras adoptar Canarias, en las últimas cinco décadas, un modelo de desarrollo turístico-urbanizador (Pérez-Chacón, Hernández-Calvento y Yanes, 2007).

²⁰ La precipitación media en la estación meteorológica de Adeje (C-418U), de la red de la AEMET es de 145,0 mm.

Figura 1

ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Grafcan e IGN (2019). Elaboración propia.

La fisonomía de este espacio está determinada, en gran medida, por la presencia de 16 cuencas-vertientes de gran desarrollo longitudinal. El 63% son de orden 3 y 2 con una extensión media entre 3,5 y 0,65 km². Las de rango 4 y 5 son excepcionales por su número en el total, 12,5% en cada categoría y con unas superficies que oscilan entre los 4,4 y 35 km². Asimismo, su fisonomía resulta también de un modelado y dinámica litoral muy alterados por la acción antrópica. Lo que en principio era una costa jalonada por playas de cantos en terrazas y desembocaduras de barrancos, acantilados sobre coladas y depósitos sedimentarios y plataformas de abrasión ha sido sustituido por un continuo urbano. A este respecto, con la compactación del suelo consiguiente, se han eliminado pequeñas áreas sin drenaje organizado en las que se infiltraba parte de

la escorrentía dada la porosidad de los materiales volcánicos y la escasa vegetación de la zona (Romero-Ruiz, Yanes, Beltrán y Díaz, 1999). Este factor, unido a una red de infraestructuras de drenaje insuficiente ha dado lugar a reiterados episodios de avenidas y pequeñas inundaciones urbanas. Por lo general, los sistemas de drenaje de este ámbito se han planificado en el contexto de un ámbito caracterizado por un régimen escaso de precipitaciones, y basándose en amplios periodos de retorno de inundación y avenida. Este hecho, hace que se omitan muchos eventos de precipitación moderada, los cuales causan daños, fundamentalmente, de carácter económico.

La citada transformación territorial de este espacio se ha vinculado a las tradicionales demandas que ha propiciado la actividad turística a partir de los años 70. Esta rápida saturación tanto demográfica como urbanística de este litoral ha modificado los niveles de exposición y vulnerabilidad frente a determinados riesgos como las avenidas. Se han registrado un total de 21 episodios de precipitación extrema entre 1980 y 2018 y más de dos millones de euros que el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) pagó entre 1996 y 2016 en concepto de indemnizaciones (López-Díez *et al.*, 2019). Un hecho que es especialmente relevante si se contempla la probabilidad de que el cambio climático magnifique los riesgos a consecuencia de un aumento en la peligrosidad de los eventos climáticos en Canarias (Dorta, López-Díez y Díaz Pacheco, 2018; Martín-Esquivel y Pérez-González, 2019). Así, entre otros efectos, se produce un incremento en la intensidad de la precipitación (Tarife, Hernández-Barrera, Gámiz, Castro y Esteban, 2012; Máyer, Marzol y Parreño, 2017), por lo que también es muy probable que la peligrosidad de la lluvia amplifique su incidencia territorial en el desencadenamiento de episodios de inundación.

FUENTES Y MÉTODO

1) Fuentes para el análisis del riesgo

Una parte del análisis del riesgo, concretamente la caracterización de la vulnerabilidad, se sustenta en los resultados obtenidos en otros trabajos previos para el área de estudio de esta investigación (Díaz-Pacheco, López-Díez, Máyer, Dorta y Yanes, 2019; Díaz-Pacheco, López-Díez, Yanes, Máyer y Dorta, 2020).

Entre las fuentes empleadas, deben destacarse la Cartografía Nacional de Zonas Inundables a escala 1:25.000 (SNCZI, 2014) vinculada al MITECO; el Plan de Defensa contra Avenidas (PDA, 2015), elaborado por el Cabildo Insular de Tenerife y un estudio exhaustivo de los medios de comunicación locales y escritos realizado *ad-hoc* para determinar las áreas afectadas de manera más o menos recurrente durante los episodios de precipitación extrema previamente reconocidos.

Tanto en los trabajos mencionados, como en el presente, se emplea de manera destacable la información proporcionada por la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda de España referida a parcelas catastrales, donde se construye el índice de vulnerabilidad con base en indicadores como la superficie total construida, o la parte de ésta que se encuentra bajo rasante, así como la antigüedad de la edificación. El uso de esta unidad espacial permite observar la distribución de distintas áreas según su grado de vulnerabilidad. El sector de estudio está cubierto por 2.787 parcelas catastrales, siendo el tamaño de las parcelas más pequeñas de 18 m² y la mayor en torno a 450.000 m², en este caso un campo de golf. Lo normal, tratándose de un espacio altamente urbanizado es que las parcelas no alcancen estas dimensiones, siendo el promedio de 3.150 m².

La parcela catastral está concebida desde el punto de vista impositivo respecto a la propiedad edificada, de esta manera, su tamaño mantiene una relación inversa a la complejidad de las edificaciones y los bienes que integra.

Esta particularidad les confiere idoneidad desde la perspectiva del análisis de la exposición de bienes, servicios y personas.

Otros indicadores empleados son la ubicación y el número de actividades de turismo y ocio, que se extrajeron de la base de datos geográficos de actividades, suministrada por el Cabildo de Tenerife (2018).

a) Datos procedentes del 1-1-2 Canarias

Por último, el análisis del riesgo, requiere, además de la vulnerabilidad, un esfuerzo para realizar la caracterización geográfica de la amenaza. Para ello, en este trabajo se ha contado con información del Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad (CECOES) 1-1-2 del Gobierno de Canarias, procedente de las llamadas telefónicas de emergencia, recopiladas y almacenadas por sus salas operativas en Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria entre 1998 y 2018.

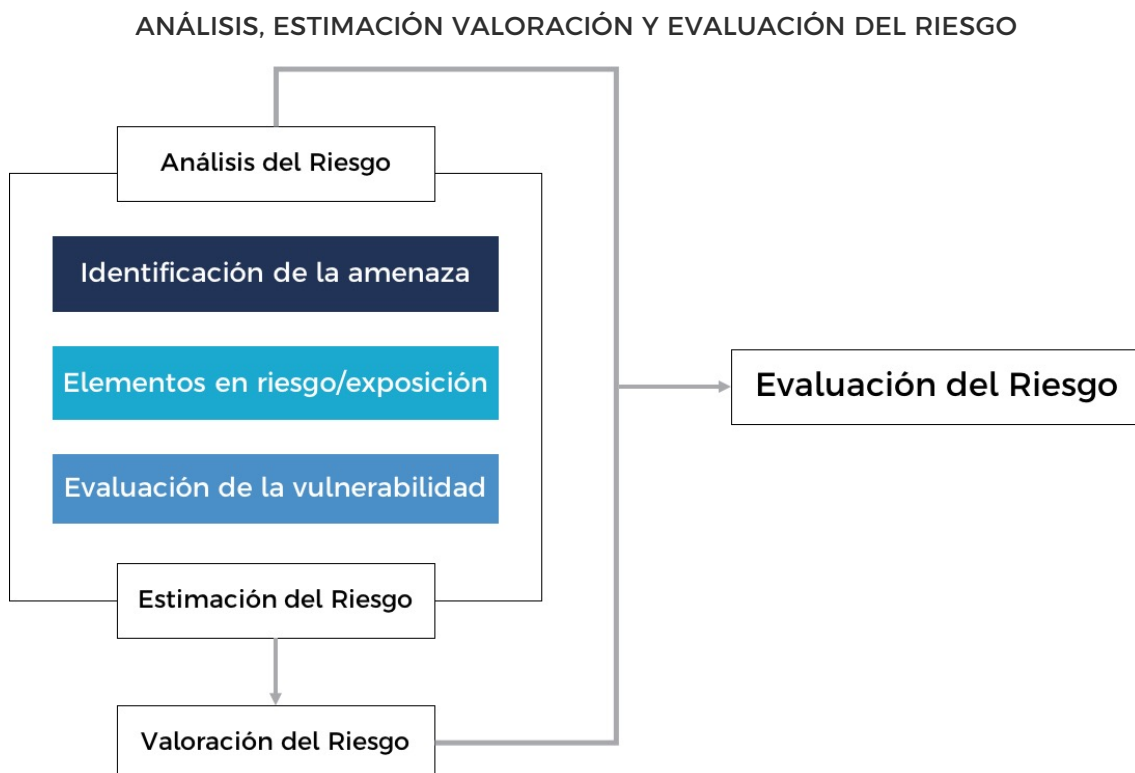
2) Análisis del riesgo

El análisis del riesgo de desastres a escala local, en este caso enfocado a la amenaza de inundación y específicamente a las avenidas, se conforma como una de las fases principales en el proceso de evaluación del riesgo. De manera general se compone de la integración de otros procesos de análisis, estimación y valoración. Este cómputo de conjunto permite obtener un resultado completo, que se denomina evaluación del riesgo. A partir de esta, se pueden llevar a cabo acciones encaminadas a la reducción del riesgo en un territorio concreto (Van Westen, 2013) (Figura 2). De esta manera se tiene, por un lado, el proceso de análisis del riesgo, a través del que se logra una estimación del riesgo a partir de la identificación de la amenaza; el análisis de los elementos en riesgo (exposición); y la evaluación de la vulnerabilidad. En esta estimación (análisis del riesgo), hoy en día, y sobre todo a escala local, los sistemas de información geográfica juegan un papel fundamental, ya que la mayoría de los procesos analizados tienen una componente espacial. Ésta es la que, en última instancia, permite estimar cómo

se distribuye el riesgo en diferentes grados sobre el territorio. Dicho esto, la evaluación del riesgo obedece a un enfoque más amplio (GAR, 2019), que se asienta sobre variables, que muchas veces son difícilmente cuantificables. Estas, se encuentran asociadas al modo en que los diferentes agentes ligados a un territorio concreto, tienen la capacidad para reducir el riesgo. Algunos ejemplos de estos indicadores que ayudan a medir la mencionada capacidad pueden ser la existencia de planes de reducción del riesgo, planes de emergencia local, sistemas de alerta temprana, o el propio conocimiento y conciencia social e institucional, acerca del comportamiento del riesgo, en este caso de inundación, así como de su comportamiento y características locales.

El método que aquí se presenta está destinado a la ejecución del análisis del riesgo, que es parte fundamental de la evaluación y cuyo resultado se traduce en una estimación del riesgo (Figura 2).

Figura 2

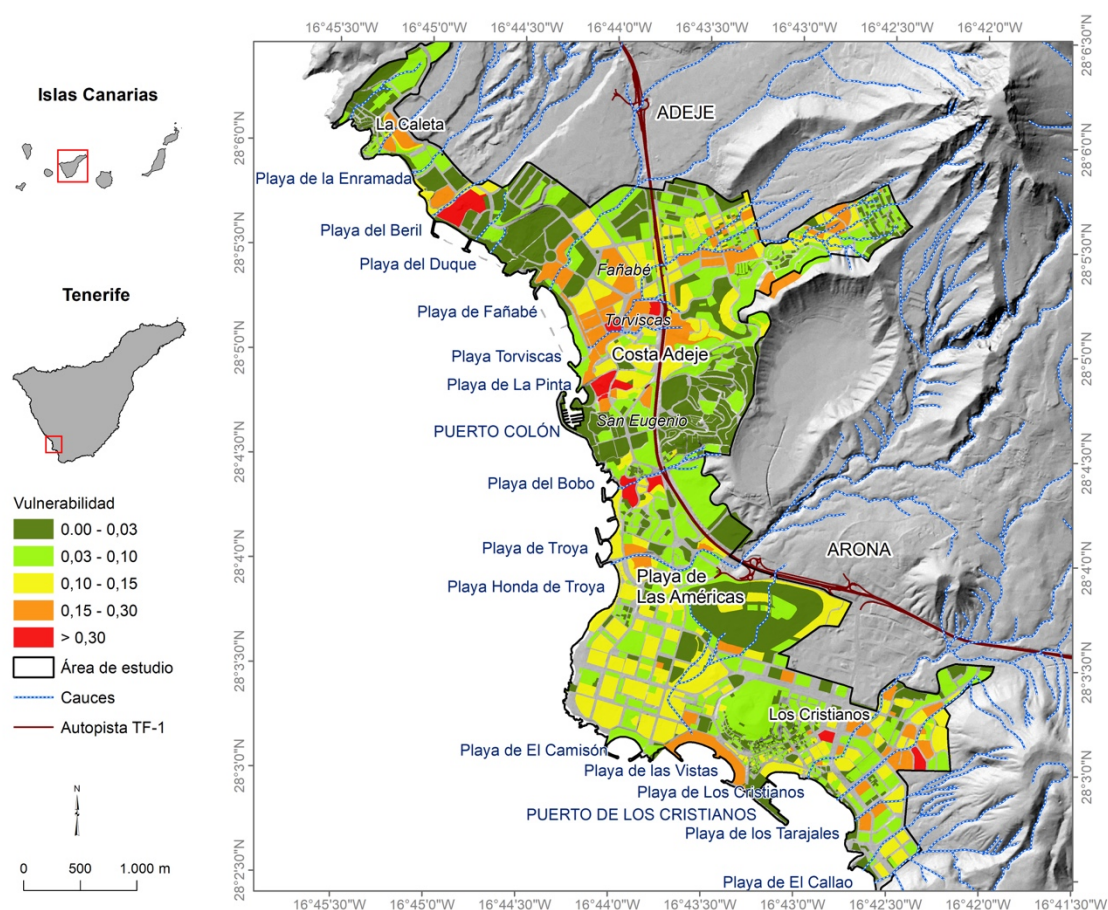


Fuente: Adaptado de Van Westen, 2013.

Para obtener el producto del análisis, al que se ha denominado estimación del riesgo, se parte de una evaluación de la vulnerabilidad realizada para el área de estudio, cuyos resultados se encuentran recogidos en trabajos previos (Díaz Pacheco *et al.*, 2019 y 2020) (Figura 3). Esta evaluación presenta sus resultados a una escala de detalle sobre la parcela catastral como unidad mínima de análisis. Sobre esta unidad espacial se agregan o se desagregan, según corresponda, todas las variables e indicadores empleados para evaluar el riesgo.

Figura 3

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR RIESGO DE INUNDACIÓN A ESCALA DE PARCELA CATASTRAL EN LA COSTA DE ARONA Y ADEJE (SO DE TENERIFE)



Fuente: Díaz-Pacheco *et al.*, 2020.

1) La función para la estimación del riesgo

Para la estimación del riesgo se emplea una metodología incluida en un manual metodológico desarrollado durante el programa de Naciones Unidas en

los años 1990 en el contexto del Decenio Internacional de los Desastres Naturales (UNDRO, 1991). No obstante, la propuesta de UNDRO no era nueva, ya que provenía de un informe emitido por la misma organización en 1979 (UNDRO, 1979).

La formulación de UNDRO (1991), a través de consideraciones realizadas por varios autores (Fournier d'Albe 1985; Coburn y Spence, 1992) evolucionó en una función del riesgo que hoy es ampliamente utilizada, sobre todo en las ciencias sociales (Carreño *et al.*, 2002), donde la exposición se integra en el concepto de vulnerabilidad, siendo:

$$R_{ei} = A_i \cdot V_e$$

Esta formulación para el análisis geográfico del riesgo es la que precisamente se conceptualiza en el presente trabajo y se expresa en función de la amenaza A_i , entendida como la probabilidad de que se presente una amenaza de intensidad igual o mayor a i , conocida la vulnerabilidad V_e , y entendiéndola ésta como la predisposición de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible a sufrir un daño ante un evento de intensidad i .²¹

El índice de vulnerabilidad V_e , como ya se ha explicado, se extrae del cómputo practicado en los trabajos previos realizados para el área de estudio, en el que ya se incluían estimaciones de las localizaciones probables de la amenaza con relación a los elementos expuestos, a través del análisis de eventos de intensidad mayor o igual a i . Tanto la localización como la intensidad fueron determinadas estudiando los episodios de precipitación extrema que tenían la capacidad de provocar daños y interrupción temporal de la actividad económica, con un reflejo importante en los medios de comunicación escritos.

²¹ En esta formulación, a diferencia de la enunciada por Carreño y colaboradores (2002) se omite el factor temporal de tiempo de exposición.

En lo que se refiere a la amenaza, en este trabajo se ha conseguido disminuir la incertidumbre respecto a su comportamiento y localización, a través de la georreferenciación de llamadas de socorro relativas a los incidentes provocados por episodios de lluvia extrema en el ámbito trabajado.

2) Soporte del registro de emergencias en el CECOES 1-1-2 para la estimación del riesgo

Un exhaustivo proceso de consulta y análisis de las bases de datos donde se almacenan las llamadas de socorro realizadas al número telefónico 1-1-2 del Centro de Coordinación de Emergencias de Canarias ha permitido identificar las comunicaciones que se hacían a las salas de recepción con relación a incidentes producidos en el área de estudio durante episodios de precipitación extrema previamente estudiados entre 1998 y 2018 (López-Díez *et al.*, 2019).

Para dar cuenta de la magnitud de información contenida en esta base de datos, se pone como ejemplo el número de incidentes recogidos en la sala de la provincia de Santa Cruz de Tenerife para el año 2013, el cual alcanza los 231.662 registros. De estos se realiza un primer filtrado para seleccionar aquellos incidentes que fueron alertados desde los municipios de Arona y Adeje y que se sitúan temporalmente desde los días anteriores a los posteriores a un episodio de lluvia extrema. En este caso el número de registros seleccionados alcanzó los 2.137 incidentes. Posteriormente y en función de un estudio previo de los contenidos de los diferentes campos de la base de datos, se realiza un filtrado a través del análisis textual final del campo que transcribe la comunicación del alertante. Mediante este proceso se identifican aquellos incidentes que pueden estar relacionados con la amenaza de inundación, avenida o incluso con fallos en el drenaje urbano, como el encharcamiento de locales comerciales, la colmatación del sistema de evacuación de aguas residuales y pluviales, el desprendimiento y la escorrentía de materiales en las calles, el colapso de vías de circulación por encharcamientos severos con calados considerables, etc. Para el

ejemplo tratado, de los 2.137 incidentes sólo 94 tienen que ver con inundaciones para el año 2013.

Estos registros, una vez identificados, fueron solicitados al CECOES, quien procede a ceder la dirección o la referencia geográfica almacenada en la base de datos, para, subsiguientemente, incorporarlos en un sistema de información geográfica, a través de un proceso semiautomático denominado geocodificación. Este procedimiento administrativo podría parecer innecesario, pero se debe a los protocolos requeridos para garantizar la protección de datos personales.

Por último, se realiza un último filtrado por localización, para excluir aquellos registros que no se encuentran dentro del área de estudio (urbanización turística costera de Adeje y Arona). En el caso del año que se ha puesto como ejemplo, el número de registros (incidentes) localizados en el área de estudio ascendieron a un total de 54 (Tabla 1).

Tabla 1

PROCESO DE SELECCIÓN Y FILTRADO DE INCIDENTES. SALA DE TENERIFE, 2013.

ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL CECOES 1-1-2

Incidentes recogidos en la sala de Tenerife	231.662
Incidentes en los municipios de Arona y Adeje, en torno al episodio de precipitación extrema identificados	2.137
Incidentes relacionados con inundaciones, avenidas o daños vinculados	94
Incidentes en el área de estudio	54

Fuente: Elaboración propia.

Interpolando las localizaciones con los incidentes identificados para valorar el alcance espacial de la amenaza, se realiza un análisis *kernel* con un radio de 500 metros a modo de mapa de intensidad también conocido como *heat map* (DeBoer, 2015).

A partir del análisis de estos registros de incidentes se consigue, por un lado, concretar los valores de intensidad de la amenaza a partir de la cual se producen daños, interrupciones severas de la normalidad, o consecuencias derivadas de la precipitación extrema en el contexto climático del área de

estudio, inundaciones, avenidas y fallos en el drenaje urbano. Por el otro, se consigue reducir la incertidumbre acerca de la localización del riesgo determinado en función de la amenaza-exposición y la vulnerabilidad.

3) Cómputo final para la estimación del riesgo

La estimación final del riesgo se traduce en el producto del índice de vulnerabilidad y del indicador de amenaza estimado para cada unidad de análisis y construido éste a partir de la información obtenida del 1-1-2 (Tabla 2).

El índice de vulnerabilidad se categoriza de acuerdo a la organización de los valores en cuartiles, operándose del mismo modo que se hace con el indicador de llamadas de emergencia al 1-1-2. Para ello se realiza un estadístico zonal donde cada unidad de análisis (parcela catastral) adquiere el indicador máximo de llamadas contenido en cada celda del *raster* resultante del análisis *kernel*.

Tabla 2

INDICADORES PARA LA VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD E INCIDENTES
REGISTRADOS DEL 1-1-2

Índice de Vulnerabilidad	Valoración	Indicador de llamadas 112	Valoración
0,001 - 0,026	1	0,10 - 1,22	1
0,026 - 0,045	3	1,22 - 3,56	3
0,045 - 0,1	5	3,56 - 7,72	5
0,1 - 1	7	7,72 - 17,40	7

Fuente: Elaboración propia.

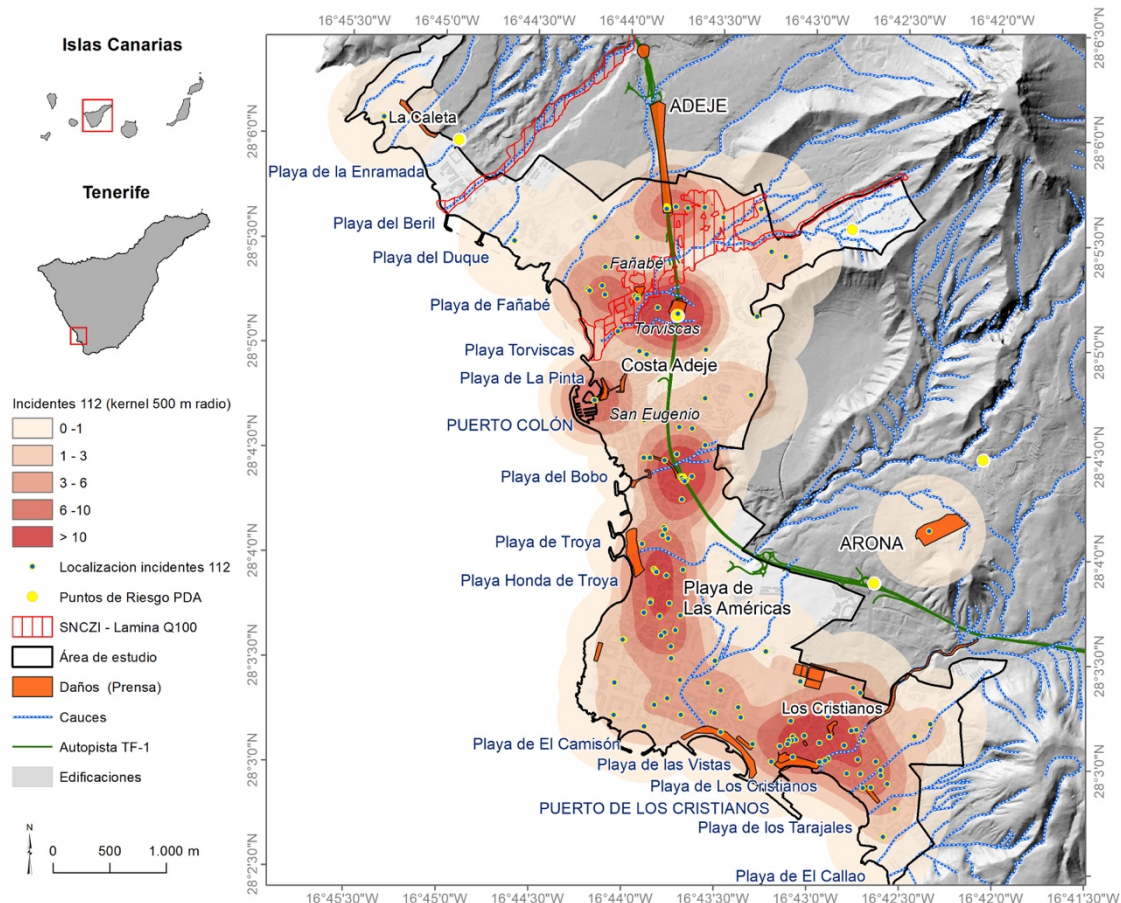
RESULTADOS

Los resultados obtenidos para valorar la peligrosidad actual frente a las inundaciones han permitido identificar, en base a los datos disponibles del 1-1-2 del Gobierno de Canarias, un total de 48 episodios de lluvia, que tuvieron como consecuencia 172 incidentes (llamadas de teléfono). Éstos se encuentran directamente relacionados con efectos producidos por eventos de inundación y/o avenida para el periodo 1998-2018. De estos 48 episodios, fueron 22 los que registran la mayor concentración de llamadas, de los cuales cuatro tuvieron una repercusión más significativa: 11/11/2000 (74 mm/24h, 14 llamadas), 18/08/2005

(57,2 mm/24h, 13 llamadas), 02/12/2013 (83mm/24h, 11 llamadas) y 11/12/2013 (158 mm/24, 37 llamadas). Todos ellos dieron lugar a unas pérdidas conjuntas según los datos del CCS de 1.244.837,91€.

Figura 4

ÍNDICE DE AMENAZA POR RIESGO DE INUNDACIÓN A ESCALA DE PARCELA CATASTRAL EN LA COSTA DE ARONA Y ADEJE (SO DE TENERIFE)



Fuente: PDA (2015); MITECO; Grafcan; IGN, 1-1-2 -Canarias. Elaboración propia.

Sin embargo, los resultados más importantes que se deben destacar son las áreas que se anegan. Esto está determinado, en gran medida, por la geolocalización de las llamadas del 1-1-2, permitiendo reconocer puntos de riesgo constatado en la zona de estudio. Es el caso de la autopista TF-1 a la altura de Torviscas y el Siam Park, Puerto Colón, el área de Troya y el núcleo de Los Cristianos (Figura 4). Además, estas áreas también son coincidentes con avenidas recogidas por otras fuentes de información como la prensa o los puntos de riesgo

del PDA, un hecho que evidencia la gran utilidad y validez del empleo de la base de datos del 1-1-2 como fuente primaria para caracterizar la amenaza.

Respecto al análisis de la vulnerabilidad realizado a escala de parcela catastral constata diferencias espaciales (Figura 3). Los mayores niveles de vulnerabilidad se concentran en el entorno de Torviscas y Fañabé y el frente litoral de dichos núcleos. Siendo, además, coincidente con una de las principales áreas de inundación definida por el SNCZI. Asimismo, se registran altos valores de vulnerabilidad en las inmediaciones de la playa de Los Cristianos, en Arona, pero sobre todo en Puerto Colón y playas de Fañabé, del Duque y La Enramada, en Adeje. Unos ámbitos que evidencian la influencia de incorporar un factor como la exposición en el cálculo de la vulnerabilidad. Así, las áreas anteriormente descritas son zonas susceptibles de sufrir episodios de inundación o bien, zonas donde se han registrado algún evento histórico. Asimismo, el resultado final del índice de vulnerabilidad incorpora otros parámetros de índole física como la pendiente. Se trata de una componente que presenta gran importancia en la capacidad de arrastre y erosión de la escorrentía superficial. La incidencia de este factor condiciona, por ejemplo, los altos niveles de vulnerabilidad en las urbanizaciones residenciales situadas en el flanco oeste de Montaña de Guaza. Por el contrario, las áreas con bajas pendientes favorecen los procesos de acumulación de agua lo que puede traducirse en un incremento de daños en el caso de ausencia de medidas que permitan un drenaje adecuado en estos sectores. Un hecho que ha sido valorado a partir de la superficie bajo rasante y que se traduce en un incremento en los niveles de vulnerabilidad, fundamentalmente, de las infraestructuras hoteleras de la zona, que albergan amplias superficies bajo el suelo, como garajes. Finalmente, el empleo de variables socio-territoriales como el uso de la parcela y los servicios ubicados en la parcela (restaurantes, centros médicos, colegios, etc.) ha mostrado notables diferencias entre parcelas, presentando niveles mayores de vulnerabilidad

aquellas que tienen vinculados servicios esenciales y cuya interrupción en un posible evento de inundación podría alterar o modificar el normal desarrollo de las actividades turísticas.

Finalmente, el riesgo producto de la amenaza y la vulnerabilidad presenta diferencias espaciales en los niveles del riesgo de inundación en las áreas turísticas de Arona y Adeje (Figura 5). En este sentido, se constata la existencia de un nivel de riesgo “Muy alto” en enclaves puntuales, concretamente en el 8,6% de las parcelas estudiadas que suponen un 14,8% de la superficie (Tabla 3). Éstas se concentran en su mayoría en el entorno de Torviscas y Puerto Colón. Asimismo, un área de interés se emplaza alrededor de la red de drenaje que conecta el parque acuático Siam Park con la Playa del Bobo, altamente modificada y en ocasiones con un drenaje inexistente. Esto da lugar a que en este sector a la altura de la autopista TF-1, se produzcan de forma frecuente numerosos incidentes asociados a episodios intensos de precipitación como el del 11 de diciembre de 2013. Junto a estas zonas, los núcleos de Playa de Las Américas y una gran parte del núcleo histórico de Los Cristianos son espacios anegadizos debido al incremento progresivo de los caudales y a las bajas pendientes.

Tabla 3

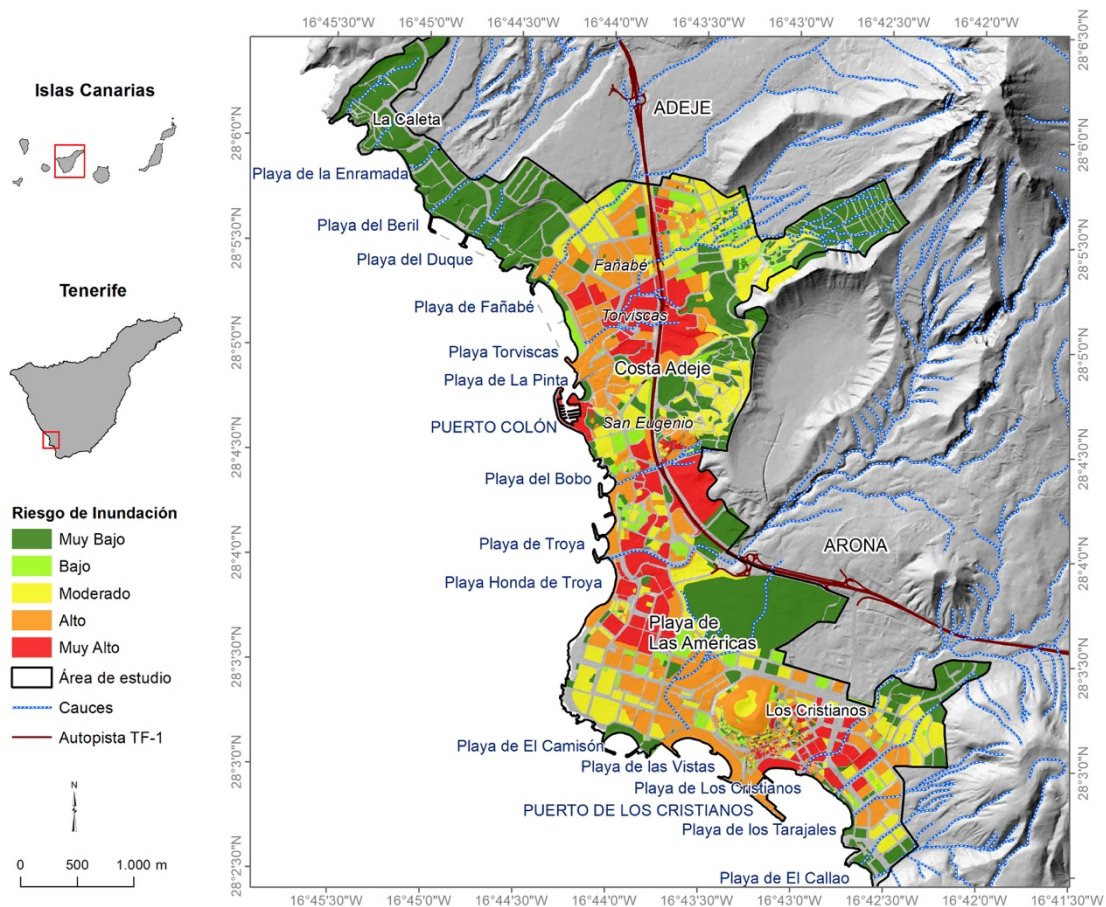
DISTRIBUCIÓN DE LOS UMBRALES DE RIESGO SEGÚN NÚMERO DE PARCELAS Y SUPERFICIE

Nivel de riesgo	Nº de parcelas	Nº de parcelas (%)	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Muy Alto	240	8,6	1,3	14,8
Alto	530	19,0	1,9	22,7
Moderado	691	24,8	1,8	20,1
Bajo	331	11,9	0,5	5,5
Muy Bajo	995	35,7	3,2	36,9

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN A ESCALA DE PARCELA CATASTRAL EN
LA COSTA DE ARONA Y ADEJE (SO DE TENERIFE)



Fuente: Elaboración propia.

Las parcelas con riesgo “Alto”, suman un total de 530, suponiendo el 19,0% de las unidades catastrales y el 23% de la superficie trabajada (Tabla 3). Éstas, en su mayoría, se circunscriben a los márgenes de aquellas clasificadas como “Muy altas”. En este sentido, el espacio comprendido entre Playa de Las Américas y Los Cristianos, en el municipio de Arona, ha presentado históricamente registro de incidentes, como los que se han producido en la Playa de las Vistas. Asimismo, es importante considerar el hecho de que un importante porcentaje (24,8%) de las parcelas estudiadas presentan un nivel de riesgo “Moderado”, circunscrito, principalmente, a áreas de urbanizaciones residenciales de ambos núcleos, como las situadas en las proximidades de la Caldera del Rey y Montaña de Guaza.

Finalmente, los niveles de riesgo “Bajo” y “Muy Bajo” representan el 46,9% del total de parcelas, abarcando, también en superficie, la mayor extensión. Unos sectores que, aunque su análisis de riesgo expresa una propensión menor a sufrir cualquier manifestación derivada de un episodio de precipitación intenso, no se puede considerar ni afirmar que sean áreas exentas al 100% de sufrir inundaciones.

Por último, un aspecto a destacar en el análisis de los resultados es que una alta vulnerabilidad no implica una correlación directa con un riesgo de inundación “Alto” o “Muy Alto”; de la misma forma que niveles de vulnerabilidad reducidos no suponen niveles de riesgo “Bajo” o “Muy Bajo”. Esto se ejemplifica en algunos de los resultados que se obtienen confrontando ambos mapas (Figura 3 y 5) como es el caso de El Beril o el núcleo histórico de Los Cristianos. En el caso del primero, ostenta un nivel de vulnerabilidad alto al estar afectado por una ARPSI y, además, en la proximidad de esta área se sitúan varios complejos hoteleros y múltiples servicios. Sin embargo, el nivel de riesgo es “Muy Bajo” debido a la inexistencia de inundaciones constatadas en el período de 18 años analizado. Un hecho que se justifica por las obras de corrección y encauzamiento del cauce de la ARPSI que afecta a dicho sector y la desembocadura situada en la Playa del Beril. Por el contrario, el caso de Los Cristianos, registraba algunos de los valores más bajos de vulnerabilidad de toda el área trabajada, debido a dos factores. En primer lugar, se trata de viviendas residenciales unifamiliares y, por tanto, la asignación poblacional por unidad catastral es relativamente menor a otras parcelas con usos no residenciales. En segundo lugar, se trata de un sector que pese a los registros en prensa de daños vinculados a episodios torrenciales no registra ningún área de riesgo de los principales estudios a escala insular sobre inundaciones como el PDA. Sin embargo, las llamadas del 1-1-2, han probado que esta área concentra una de las mayores densidades de registros vinculados con afecciones directas producto de las avenidas que han afectado a este núcleo.

DISCUSIÓN

En un archipiélago donde gran parte de su economía depende del sector turístico el desarrollo de acciones que fomenten la resiliencia de este sector y de los espacios que ocupa se hace esencial como forma de garantizar que estos destinos no pierdan competitividad. Además, esto es más significativo si se considera que la industria del turismo suele estar mal preparada para recibir impactos como los derivados de los desastres de origen natural (Prideaux, Laws y Faulkner, 2003), por lo que el fomento de la seguridad se convierte en un elemento destacado en el atractivo turístico de un área determinada (Besancenot, 1991). Por ello, el conocimiento tanto de las amenazas como de las vulnerabilidades a los que se enfrenta un destino turístico resulta indispensable y prioritario.

Entre otras consecuencias, la implantación de la actividad turística suele llevar asociada una fuerte transformación del territorio e inadecuada localización de equipamientos e infraestructuras turísticas (Olcina, 2012). Un hecho que, en el caso de las Islas Canarias, se ha evidenciado con el paso de numerosos eventos meteorológicos de todo tipo, cuyos efectos han estado circunscritos a los espacios urbanos y turísticos. En este sentido, son conocidos los problemas derivados de la mala planificación de cara a un riesgo, como las inundaciones en los ámbitos turísticos insulares. Un riesgo que ha afectado a sectores turísticos del sur de las islas de Gran Canaria o el área de estudio trabajada en esta investigación en Tenerife (Máyer y Pérez- Chacón, 2006). De este modo, la mayor atención a los riesgos de origen natural en un área turística se conforma como un importante aspecto a considerar en una estrategia de RRD con la finalidad de poder integrarla en los instrumentos de ordenación y planificación existentes para mejorar la calidad del destino turístico (Babinger, 2012).

Junto a lo citado anteriormente, no hay que olvidar el posible efecto de los escenarios futuros de cambio climático en las islas. Unos estudios que indican un

aumento en la intensidad de las amenazas de origen climático y, en el caso de esta investigación, con una tendencia a la concentración y aumento de la torrencialidad de las precipitaciones (Dorta *et al.*, 2018), cuestiones que pueden aumentar la peligrosidad y variar el riesgo. Es por ello que los resultados de esta investigación presentan gran utilidad de cara a afrontar posibles acciones de mitigación o reducción del riesgo en aquellas áreas con la mayor susceptibilidad de verse afectada por efecto de una inundación; áreas que en un futuro pueden ver incrementar los daños sufridos por eventos de precipitación torrencial. En este sentido, y en rigor para el futuro análisis de los posibles efectos del cambio climático en el área trabajada, sería necesario también hacer estimaciones para otras amenazas, como puede ser el caso del incremento del nivel del mar.

En consonancia con lo anterior, la línea de investigación de este trabajo ha abordado lo expresado por algunas publicaciones ya mencionadas (Roselló-Nadal, 2014; Scott *et al.*, 2016) cuya fundamentación está basada en el planteamiento de que uno de los inconvenientes para conocer los efectos del cambio climático en los territorios de especialización turística ha sido la falta de evaluaciones que analicen los posibles impactos del cambio climático sobre estos espacios. Es en este marco donde metodologías de análisis del riesgo local, como parte de la evaluación del riesgo, toma sentido como instrumento de RRD. Además, como política de adaptación, cuya finalidad no es otra que la de analizar como una sociedad o un sector de actividad concreto conoce, asume y tiene en cuenta el análisis de riesgo y las medidas de mitigación que se deben adoptar para reducir su vulnerabilidad.

Aunque tradicionalmente el análisis de riesgo ha sido sinónimo de evaluación del riesgo, este último es un proceso más amplio que no solo integra el análisis del riesgo, sino que incorpora otras dimensiones que buscan revelar las interrelaciones y dependencias entre el riesgo y los múltiples actores o partes que intervienen tanto en su generación como en su reducción (Van Western, 2013;

GAR, 2019). Es cierto que el factor fundamental de la evaluación del riesgo es el planteado en esta investigación, no obstante, ésta ha de tender a incorporar en su análisis el estudio de medidas no estructurales y cómo se conjugan con el riesgo, unas medidas que presentan un mayor grado de eficacia que las estructurales (Olcina y Oliva, 2020). A modo de ejemplo, tanto Arona como Adeje cuentan con sus respectivos Planes de Emergencia y Protección Civil Municipal (PEMU). Sin embargo, es en el proceso de implantación de estos planes, donde se posibilita conocer de forma expresa cómo la presencia de estos documentos puede suponer un factor de atenuación del riesgo.

CONCLUSIONES

El método de valoración del riesgo diseñado y aplicado en el ámbito turístico de los municipios de Arona y Adeje ha demostrado gran utilidad, tanto por su concreción espacial como por su fiabilidad y aplicabilidad.

En primer lugar, el empleo de la parcela catastral como unidad de análisis permite establecer y vincular a ésta múltiples indicadores para el cálculo de un factor altamente complejo y dinámico como la vulnerabilidad. De esta forma se han podido establecer diferencias espaciales en un ámbito aparentemente homogéneo como el trabajado. Asimismo, disminuir la unidad de análisis posibilita reducir la escala de los sistemas que se están evaluando por lo que los resultados presentan un mayor grado de confianza.

En segundo lugar, el método se presenta como fiable tanto en la precisión descrita anteriormente en un elemento como la vulnerabilidad, como, sobre todo, por introducir en el análisis los registros del 1-1-2 permitiendo identificar mejor las zonas con problemas de inundación. La gran cantidad de información territorial que proporciona este recurso la convierte en una fuente primaria muy interesante para la caracterización de eventos de desastres, como las avenidas. En este sentido, actualmente las fuentes oficiales (Plan de Gestión del Riesgo de Inundación, PDA, SNCZI) que han abordado la caracterización del riesgo de

inundación en las Islas Canarias, presentan menor información en cuanto a la caracterización de “puntos negros” o “áreas de riesgo constatado” que la que puede ofrecer el 1-1-2. Del mismo modo el empleo de esta fuente de información, que cuenta con más de 20 años de registros continuados, permite abordar la característica incertidumbre propia de cualquier análisis del riesgo. A este respecto, en muchas ocasiones las fuentes oficiales identifican un área como problemática pero, sin embargo, estas no han experimentado ningún daño o efecto relacionado con un episodio de lluvia torrencial como es el caso del Beril en Adeje. En tercer lugar, se trata de un método replicable de aplicación relativamente sencilla en espacios de características análogas al área de estudio. Ahora bien, también es cierto que actualmente la información recogida en el 1-1-2 presenta cierta complejidad en su explotación. No obstante, como ha demostrado la presente investigación, esta información ha de convertirse en un elemento fundamental en el estudio e investigación del riesgo, con la finalidad de que pueda suponer un soporte para la mejora no sólo de los sistemas locales de protección civil y emergencias sino también del planeamiento urbano.

La metodología y resultados presentados en este trabajo suponen un soporte para la toma de decisiones en materia de ordenación del territorio a escala municipal. Esto se debe a que se han identificado zonas urbanas que pueden ser especialmente problemáticas en caso de un evento de inundación. Unos eventos de desastre que pueden dar lugar, no sólo a efectos físicos sobre las personas, sino que, sobre todo, afectan al tejido productivo y a la actividad económica de estas áreas turísticas. Esta diferenciación espacial de las áreas con mayor riesgo, representada en la cartografía del trabajo, permite intervenir en dichos sectores a través del desarrollo de medidas correctoras que permitan reducir y mitigar el impacto de futuros eventos de inundación, en aquellas parcelas donde se registran los mayores niveles de riesgo.

En definitiva, la consolidación de acciones y políticas dentro de los ámbitos locales, como son las vinculadas a la RRD, no sólo contribuyen a reducir los efectos del cambio climático, sino que éstas son piezas claves en el desarrollo de cualquier proceso de adaptación frente al mismo. El análisis y la evaluación del riesgo contribuyen a la sostenibilidad de los espacios turísticos (Roe, Hrymak y Dimanche, 2012), y por ende, a los procesos de adaptación que han de responder a las singularidades de cada territorio.

Por todo ello, el éxito de estas evaluaciones y los procesos adaptativos dependerán, en última instancia, de las alianzas que se produzcan entre los diferentes agentes implicados, para implementar estrategias de reducción del riesgo.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de esta investigación se deben en gran parte a la cesión de información por parte del Consorcio de Compensación de Seguros de España (CCS) y del Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad (CECOES) 1-1-2 del Gobierno de Canarias. Este trabajo se circunscribe al proyecto de investigación “*Análisis del impacto de las inundaciones en áreas turísticas costeras: Canarias laboratorio natural de resiliencia*” -Prold201710027- concedido por el Gobierno de Canarias y los Fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

Babinger, F. (2012). El turismo ante el reto de peligros naturales recurrentes: una visión desde Cancún. *Investigaciones geográficas*, (78), 75-88.

Becken, S., y Khazai, B. (2017). Resilience, tourism and disasters. En *Tourism and resilience*, Butler, Boston, 96-102.

Besancenot, J. P. (1991). *Clima y turismo*. Masson.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., y Wisner, B. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Londres, Routledge.

Cardona, O. D. (2002). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Recuperado de: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19852>

Carreño, M., Cardona, O.D., y Barbat, A. (2002). *Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), Barcelona.

Coburn A. y Spence R. (1992). *Earthquake protection*. Ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.

Day, J., Chin, N., Sydnor, S., y Cherkauer, K. (2013). Weather, climate, and tourism performance: A quantitative analysis. *Tourism Management Perspectives*, 5, 51-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2012.11.001>

DeBoer, M. (2015). Understanding the heat map. *Cartographic perspectives*, (80), 39-43. doi: DOI: <https://doi.org/10.14714/CP80.1314>

Díaz-Pacheco, J., López-Díez, A., Máyer, P., Dorta, P., y Yanes, A. (2019). Evaluación de la vulnerabilidad local de inundación en enclaves insulares áridos de especialización turística. En *Crisis y espacios de oportunidad: retos para la Geografía: Libro de Actas (358-373)*. Asociación Española de Geografía.

Díaz-Pacheco, J., López-Díez, A., Yanes, A., Máyer, P., y Dorta, P. (2020). Propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad local por inundación en áreas turísticas costeras de clima árido: aplicación al litoral de Arona y Adeje (SO de Tenerife). *Cuadernos de Geografía*, 104. En prensa.

Dorta, P., López-Díez, A., y Díaz Pacheco, J. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. *Cuadernos Geográficos*, 2018, 57(2), 27-52. doi: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>

Feliu, E., García, G., Gutiérrez, L., Abajo, B., Mendizábal, M., Tapia, C., y Alonso, A. (2015). *Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio*

Climático. Oficina Española de Cambio Climático (PNACC). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 100.

Fournier d'Albe, M. (1985). The Quantification of Seismic Hazard for the Purposes of Risk Assessment. En *International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas*, Skopje.

GAR (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. United Nations, 425pp. Recuperado de: <https://gar.undrr.org/report-2019>

Gero, A., Méheux, K., y Dominey-Howes, D. (2011). Integrating community based disaster risk reduction and climate change adaptation: examples from the Pacific. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 11(1). <https://doi.org/10.5194/nhess-11-101-2011>

Instituto Canario de Estadística (ISTAC). (2019): Encuestas de Hostelería y Turismo. Gobierno de Canarias.

IPCC. (2014). *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, y L.L.White. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

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 y P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, USA, 1535 pp.

IPCC. (2018). *Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, y T. Waterfield (Eds.). En prensa, 630 pp.

Jeuring, J., y Becken, S. (2013). Tourists and severe weather—An exploration of the role of ‘locus of responsibility’ in protective behaviour decisions. *Tourism Management*, 37, 193-202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.02.004>

Kelman, I. (2015). Climate change and the Sendai framework for disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(2), 117-127. doi: <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0046-5>

King, D., Gurtner, Y., Firdaus, A., Harwood, S., y Cottrell, A. (2016). Land use planning for disaster risk reduction and climate change adaptation. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(2), 158-172. doi: <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-03-2015-0009>

Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., y Weber, E. (2012). Climate Change: New Dimensions in Disaster Risk, Exposure, Vulnerability, and Resilience. En C. Field, V. Barros, T. Stocker, y Q. Dahe (Eds.). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (25-64). Cambridge: Cambridge University Press.

Lin, B. B., Capon, T., Langston, A., Taylor, B., Wise, R., Williams, R., y Lazarow, N. (2017). Adaptation pathways in coastal case studies: lessons learned and future directions. *Coastal Management*, 45(5), 384-405. doi: <https://doi.org/10.1080/08920753.2017.1349564>

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. En Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio M.; Moltó Mantero, Enrique (Eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, Asociación Española de Climatología, 535-544.

López-Díez, A., Máyer, P.; Díaz-Pacheco, J. y Dorta, P. (2019). Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain). *Atmosphere*, 10, 809. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos10120809>

Martín-Esquivel, J. L., y Pérez-González, M.J. (2019). Cambio Climático en Canarias "Impactos". Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial. Editorial Turquesa.

Máyer, P. y Pérez-Chacón, E. (2006). Tourist activity and floods on the southern coast of Gran Canaria. An induced risk? *Journal of Coastal Research*, 48, 77-80.

Máyer, P; Marzol, M.V. y Parreño, J.M. (2017). Precipitation trends and daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43. doi: <https://doi.org/10.18172/cig.3095>

Narváez, L., Lavell, A., y Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres*. Secretaría General de la Comunidad Andina. Recuperado de: http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/procesos_ok.pdf

Olcina, J. (2012). Turismo y cambio climático: una actividad vulnerable que debe adaptarse. *Investigaciones Turísticas*. 4, 1-34. doi: <https://doi.org/10.14198/INTURI2012.4.01>

Olcina, J y Oliva, A. (2020). Medidas estructurales versus cartografía de inundación en la valoración del riesgo en áreas urbanas: El caso del barranco de

las Ovejas (Alicante, España). *Cuadernos Geográficos*, 59(2). doi: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.10278>

Olya, H. G., y Alipour, H. (2015). Risk assessment of precipitation and the tourism climate index. *Tourism Management*, 50, 73-80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.01.010>

PDA. (2015). Plan de Defensa contra Avenidas. Cabildo Insular de Tenerife. CIATF. INCLAN. Recuperado de: <https://www.aguastenerife.org>

Pelling, M. (2003). *The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience*. Londres, Earthscan.

Pérez-Chacón, E., Hernández-Calvento, L. y Yanes, A. (2007): Transformaciones humanas y sus consecuencias sobre los litorales de las Islas Canarias. En: *Les littoraux volcaniques. Une approche environnementale* (Etienne, S. et Paris, R., eds). Clermont-Ferrand, Press Universitaires Blaise-Pascal, 173-191.

Prabhakar, S., Srinivasan, A., y Shaw, R. (2009). Climate change and local level disaster risk reduction planning: need, opportunities and challenges. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 14(1), 7. doi: <https://doi.org/10.1007/s11027-008-9147-4>

Prideaux, B., Laws, E., y Faulkner, B. (2003). Events in Indonesia: exploring the limits to formal tourism trends forecasting methods in complex crisis situations. *Tourism management*, 24(4), 475-487. doi: [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(02\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(02)00115-2)

Riddell, G. A., van Delden, H., Maier, H. R., y Zecchin, A. C. (2019). Exploratory scenario analysis for disaster risk reduction: considering alternative pathways in disaster risk assessment. *International journal of disaster risk reduction*, 39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101230>

Roe, P., Hrymak, V., y Dimanche, F. (2014). Assessing environmental sustainability in tourism and recreation areas: a risk-assessment-based

model. *Journal of Sustainable Tourism*, 22(2), 319-338. doi:
<https://doi.org/10.1080/09669582.2013.815762>

Romero-Ruiz, C., Yanes, A., Beltrán, E., Díaz, C. (1999): La incidencia de los factores morfoestructurales en la configuración del sistema de drenaje de Tenerife. En Actas del XVI Congreso de Geógrafos Españoles, Universidad de Málaga, 263-271.

Rosselló-Nadal, J. (2014). How to evaluate the effects of climate change on tourism. *Tourism Management*, 42, 334-340. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.11.006>

Scott, D., de Freitas, C., y Matzarakis, A. (2009). Adaptation in the tourism and recreation sector. *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*, 171-194. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8921-3_8

Scott, D., Hall, M, y Gössling, S. (2016). A review of the IPCC Fifth Assessment and implications for tourism sector climate resilience and decarbonization, *Journal of Sustainable Tourism*, 24(1), 8-30. doi:
<https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1062021>

SNCZI. (2014). Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI). Ministerio de Transición Ecológica. Recuperado de:
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>

Solecki, W., Leichenko, R., y O'Brien, K. (2011). Climate change adaptation strategies and disaster risk reduction in cities: connections, contentions, and synergies. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 135-141. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.03.001>

Tarife, R., Hernández-Barrera, S., Gámiz, S.R., Castro, Y., y Esteban, M.J. (2012). Análisis de los extremos pluviométricos en las islas Canarias y su relación con el índice NAO. VIII Congreso Internacional AEC. Salamanca.

Tsai, C. H., y Chen, C. W. (2011). The establishment of a rapid natural disaster risk assessment model for the tourism industry. *Tourism Management*, 32(1), 158-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.05.015>

UNDRO (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, Report of Experts Group Meeting, Ginebra.

UNDRO. (1991). *Mitigating natural disasters: Phenomena, effects and options: A manual for policy makers and planners*. UN. Office of the Disaster Relief Co-Ordinator. Nueva York.

UNWTO. (1998). *Handbook on Natural Disaster Reduction in Tourist Areas*. World Tourism Organization and the World Meteorological Organization.

Van Westen, C. J. (2013). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. *Treatise on geomorphology*, 3, 259-298. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00051-8>

Venton, P., y La Trobe, S. (2008). *Linking climate change adaptation and disaster risk reduction*. In *Linking climate change adaptation and disaster risk reduction*. Tearfund; Institute of Development Studies (IDS).

BLOQUE III. CONCLUSIONES

III.1. CONCLUSIONES

Las preguntas de investigación han vertebrado gran parte de esta investigación y de sus publicaciones. Por esta razón el bloque final de conclusiones se ha proyectado siguiendo el orden de planteamiento de dichas preguntas, exponiéndose a continuación una serie de conclusiones al respecto.

III.1.1. Conclusiones respecto a las preguntas de investigación

a-) ¿Cuál es el estado de la cuestión del cambio climático en los espacios insulares y específicamente en la Macaronesia?

Los hallazgos científicos no dejan lugar a dudas acerca de las múltiples alteraciones en los principales elementos climáticos a escala global, sino que, además, este efecto también se manifiesta, se ha demostrado y es ya patente, en regiones concretas. Este es el caso de los archipiélagos de la Macaronesia.

Respecto a las temperaturas hay que señalar que ha sido el parámetro más ampliamente estudiado y cuyos resultados son más sólidos desde una perspectiva estadística. El incremento térmico desde principios del siglo XX ha sido generalizado para toda la región, con un ascenso muy acusado desde los años 70-80, un aumento que, aunque algo inferior a la media global, sí que se asemeja al de otros archipiélagos. Las regiones insulares, a su vez, son las que más sufrirán las consecuencias del calentamiento global. Las islas de Mauricio y Bahamas son ejemplos de casos bien estudiados con resultados análogos (Cropper y Hanna, 2014) a los de nuestro ámbito de estudio. Del mismo modo este ascenso térmico generalizado en la región macaronésica presenta dos matices, siendo especialmente importante en los sectores de alta montaña de las islas, es decir, en la capa superior a la inversión térmica propia del alisio y, en segundo lugar, es mucho más pronunciado en los valores mínimos que en los máximos.

Este último hecho está provocando tanto la disminución de la amplitud térmica como un aumento apreciable del número de noches tropicales. Aspecto que se relaciona directamente con un mayor riesgo de mortalidad, fundamentalmente entre los grupos más vulnerables como los ancianos (Grizea *et al.*, 2005; Royé y Martí, 2015). Además, estas variaciones térmicas también muestran otros efectos como la pérdida de confort térmico, siendo éste un factor importante para el

desarrollo de la práctica turística en las islas. Igualmente, y aunque no haya sido objeto directo de estudio, conviene destacar que los cambios térmicos también, presentan consecuencias más amplias, por ejemplo, generando variaciones altitudinales en la localización de algunas especies vegetales. Unos cambios que harán que algunas especies se desplacen hacia zonas climáticas que se adapten mejor a sus exigencias ecológicas (Jump *et al.*, 2009; Patiño *et al.*, 2016). Finalmente, de cara al futuro, según el IPCC, en ningún caso se prevé para final de siglo un calentamiento para la Macaronesia por debajo de un grado centígrado, apuntando hacia un, más que probable, incremento térmico, entre un grado y medio y dos grados por encima de la temperatura registrada con respecto al valor medio entre 1986 y 2005.

El análisis de las precipitaciones es más difícil de tratar estadísticamente, más aún en territorios con una alta irregularidad pluviométrica como Canarias o Cabo Verde. Este hecho determina que los resultados estadísticos no sean del todo concluyentes, aunque sí es cierto, que algunos de los trabajos analizados exhiben una ligera disminución sobre los totales de las últimas décadas, en consonancia con los resultados que muestra el IPCC para la región de la Macaronesia. Respecto a las tendencias futuras para final de siglo XXI éstas son menos alentadoras indicando una reducción de entre el 12% y el 23% (AEMET, 2015) en función de los escenarios de emisiones que se manejen. Incluso, si no se cumplieren estas predicciones, podría darse la paradoja de que, con los mismos totales de precipitación, la disponibilidad del recurso hídrico fuese mucho menor, debido principalmente a la tendencia a la intensificación o torrencialidad de la lluvia que ya se está experimentando en la Macaronesia. Por otro lado, se empiezan a evidenciar alteraciones en la distribución estacional de la precipitación. En Canarias, por ejemplo, se ha demostrado un cierto desplazamiento estacional de las precipitaciones invernales, con una disminución estadística de la precipitación entre los meses de noviembre y enero que se ha compensado parcialmente con un incremento de lluvias en los meses de febrero y marzo y un incremento significativo en la precipitación estival, siendo esta cada vez más habitual (López-Díez *et al.*, 2017). Siendo unos cambios que podrían generar desincronizaciones en los ciclos ecológicos de algunas especies.

A otro respecto, se aprecian, como ya hemos citado, cambios en el comportamiento de las precipitaciones. En primer lugar, con un aumento en su torrencialidad, con episodios de lluvia que han generado numerosas víctimas

mortales y severas pérdidas económicas como fue el caso del 31 de marzo de 2002 en Santa Cruz de Tenerife. En segundo lugar, con una intensificación de las sequías, especialmente en la alta montaña, registrándose los inviernos más secos en la última década del siglo XX y en lo que llevamos de siglo XXI. Vinculado a las sequías es interesante mencionar la existencia de trabajos que han probado un aumento de la evapotranspiración potencial en islas como Tenerife (Martín y Pérez, 2019) que, sumado a la previsible disminución de la precipitación para finales de siglo, podría suponer un incremento considerable de este riesgo, las sequías y la disponibilidad de agua. Este es un hecho especialmente importante para uno de los sectores más vulnerables ante el cambio climático: la agricultura.

Los cambios en el nivel del mar también indican un incremento generalizado y que ya se encuentra examinado para algunas islas como Tenerife (Marcos *et al.*, 2013). Ahora bien, las proyecciones futuras aún muestran un alto grado de incertidumbre. En función de los escenarios y modelos que se analicen, se estima una variabilidad para final de siglo XXI de entre 18,6 cm y 131,5 cm. Unos valores medios que no tienen en cuenta el oleaje derivado de situaciones de inestabilidad ni las mareas. Se trata de un hecho que sumado al incremento proyectado puede elevar considerablemente la exposición de las infraestructuras situadas en primera línea de costa de las islas, esto es, un espacio donde se concentran los principales núcleos turísticos de las islas. Del mismo modo, este ascenso del nivel del mar puede también comprometer la supervivencia de algunas especies vegetales y ecosistemas de gran valor como, por ejemplo, las Dunas de Maspalomas en Gran Canaria o también, la propia ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (Carreira-Galbán *et al.*, 2018).

Respecto al viento, los estudios constatan un incremento en la intensidad de los alisios desde 1970, que refuta la idea que postuló Andrew Bakun en 1990. A este respecto, no sólo la intensidad podría estar sufriendo variaciones, sino que la altitud de la inversión con la que soplan los alisios (Spearling *et al.*, 2004²²) también podría descender a finales de siglo y por ende la base del mar de nubes. Ello generaría posibles consecuencias ecológicas para los bosques de nieblas, como la laurisilva macaronésica. Todas estas modificaciones, como apuntan

²² Es probable, como se evidenció en uno de los trabajos de esta tesis doctoral (Dorta *et al.*, 2018), que los resultados de Spearling y colaboradores se justifiquen por las lagunas de algunas de las series de datos empleadas. Por tanto, los resultados que muestra este artículo es muy probable que sean menos sólidos de los manifestados en la publicación.

algunos autores, podrían deberse a los cambios en la posición y extensión que está experimentando el anticiclón atlántico, un hecho que también podría justificar el incremento en la frecuencia de las advecciones de aire sahariano sobre la región macaronésica durante los meses fríos (Sanz *et al.*, 2007). Esta última idea que se complementa con las previsiones futuras, aún con muchas incertidumbres (García-Herrera *et al.*, 2016; Dorta *et al.*, 2018), provocaría el aumento del número de episodios durante los meses invernales. En ese contexto, un episodio extremo muy reciente, ocurrido en febrero de 2020, donde se registraron concentraciones de polvo en suspensión históricas, podría simbolizar una “excelente fotografía” del futuro climático de las islas en relación a estos fenómenos.

En este contexto de revisión de las evidencias observadas en las tendencias de algunas variables climáticas, la región macaronésica tampoco es ajena al incremento de los riesgos derivados del cambio climático. El propio IPCC ya ha señalado la alta probabilidad de que la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos a nivel global aumente. Se trata de una conclusión que algunas publicaciones empiezan a probar para nuestro contexto insular.

Las olas de calor muestran un aumento, tanto en lo que se refiere a valores extremos como a su frecuencia, sobre todo, en la extensión de las altas temperaturas hacia el otoño y, especialmente, la primavera. La principal consecuencia de estos episodios se vincula con los incendios forestales, dando lugar a que la estacionalidad de éstos se extienda y comiencen a aparecer grandes incendios forestales en meses relativamente fríos pero que son poco habituales, como marzo o abril. Además, a lo largo del presente siglo han tenido lugar los incendios más graves en la historia del archipiélago canario. Entre ellos sobresalen los de julio de 2007, en Tenerife, Gran Canaria y La Gomera, 2012 en La Gomera y 2019 en Gran Canaria.

Pero, sin duda, los eventos meteorológicos más inquietantes en cuanto a los posibles impactos en los archipiélagos son los fenómenos inestables de origen tropical, tormentas y ciclones tropicales, que podrían estar mostrando una probable tropicalización del clima de la región. En este aspecto, se ha observado un aumento de fenómenos tropicales que circulan en las inmediaciones de la Macaronesia, alcanzando, incluso, zonas poco usuales como es el caso de Delta en 2005 en Canarias, Otto para Madeira en 2010 o Fred en 2015 en Cabo Verde.

No obstante, estos no han sido los primeros episodios, puesto que ha habido eventos pasados de peores consecuencias, al menos, en diciembre de 1975 y noviembre de 1826 para el caso de Canarias. Sin embargo, la principal novedad no es su aparición sino la tendencia a la concentración de estos fenómenos en las dos últimas décadas.

Por último, cabe señalar que las islas macaronésicas, representan una tasa de emisión de CO₂ territorialmente insignificante en el contexto global, sin embargo, será de las regiones insulares que más sufran el impacto del cambio climático. Por ello, la gestión de amenazas como las olas de calor e incendios forestales, precipitaciones torrenciales y, la más que probable presencia de tormentas y ciclones tropicales, ha de constituir un reto para la ordenación del territorio y los distintos sistemas de protección civil en los diferentes archipiélagos. Únicamente una evaluación exhaustiva de los posibles efectos de estos eventos permitirá comenzar a trabajar para impulsar los procesos de adaptación al cambio climático en la región.

b-) ¿En qué medida se pueden establecer nuevas evidencias científicas que ayuden a consolidar los datos publicados?

El primer paso para comprender los retos del cambio climático debe ser tener una base científica sólida. Bajo esta premisa se han desarrollado nuevos resultados que apoyan algunas de las proyecciones futuras en nuestro ámbito. Aunque se han analizado algunas variables, las precipitaciones y, en segundo término, las temperaturas han focalizado parte de estos nuevos aportes. En primer lugar, se ha observado una tendencia decreciente, con baja significación estadística respecto a los totales pluviométricos en series como Izaña (1920-2016), en consonancia con el resto de la literatura científica consultada. También, para esta misma serie, se ha acreditado una intensificación de inviernos muy secos, concentrándose estos, en los últimos años de la serie, lo que plantea una interesante hipótesis de si la disminución efectiva de la precipitación puede estar asociada más a una intensificación de las sequías que a esa ligera reducción en los totales pluviométricos que han indicado algunos trabajos (Tarife *et al.*, 2012; Máyer *et al.*, 2017). En segundo lugar, otro elemento interesante que se puede observar son los cambios en la distribución estacional de las precipitaciones. En el caso de Canarias se han trabajado las lluvias estivales, que empiezan a mostrar señales de cambio en época reciente, hasta tal punto que se han producido tres

eventos importantes en el mes de agosto durante los últimos años (2003, 2005 y 2015). Su relevancia es patente al comprobar el peso de los aportes pluviométricos en el contexto anual, llegando a suponer, en el último evento, el 1700% de la precipitación media para agosto y casi el 22% del total anual, cuando el valor medio es de 1,27%. Los datos analizados para los meses de verano indican una tendencia significativa en estaciones de islas como La Palma y El Hierro, e incluso, si centramos el análisis únicamente en el mes de agosto, se observa como esta significancia estadística se amplía a estaciones de otras islas como Izaña, en la alta montaña de Tenerife, el único observatorio meteorológico que supera el siglo de datos en Canarias. Esta aparición, cada vez más frecuente, de episodios de precipitación intensa en el verano podría anunciar una posible tropicalización en las condiciones climáticas de la región, un hecho que se podría asociar con el aumento de las temperaturas oceánicas en el Atlántico Norte Suroriental (Kossin, 2008; Guijarro *et al.*, 2014).

Por otro lado, el análisis de la temperatura, se ha enfocado hacia extremos térmicos cálidos como el de mayo de 2015. Se trata de unos registros inusuales para primavera hasta el punto de que su tratamiento estadístico por separado podría asemejarse a un *outlier*. La ola de calor de mayo de 2015 batió records de temperatura en numerosas estaciones, principalmente en las situadas en las islas orientales del archipiélago canario como Fuerteventura y Lanzarote, con valores de hasta 6°C superiores al máximo absoluto registrado hasta ese momento, en 1986. A este respecto el análisis estadístico en estaciones como el aeropuerto de Lanzarote arroja una tendencia estadísticamente significativa en el incremento de las temperaturas máximas en meses como mayo. Estos datos podrían servir de evidencia para demostrar también la extensión de la temporada estival hacia la primavera, tal como está ocurriendo en otros espacios (Jansá *et al.*, 2016), así como el alargamiento del periodo de afección de olas de calor muy intensas, con valores por encima de los 35°C. Un factor, este último, que también podría influir en la propagación de incendios forestales fuera de la temporada habitual.

Como ya se comentó en alguno de los trabajos (Dorta *et al.*, 2018) vinculados con esta tesis, de entre todos los eventos extremos, los que presentan mayor interés desde una perspectiva científica son los fenómenos de origen tropical. En esta línea y pese a la complejidad del tratamiento del fenómeno se ha observado una elevada recurrencia en los últimos años. El 2005 marcó un hito climático, tanto por la tormenta tropical Delta como por el hecho de que Vince fuese el primer

ciclón tropical, constatado científicamente, que alcanzó la Península Ibérica. Sin embargo, estos no han sido los únicos eventos, ya que hasta ocho tormentas tropicales han pasado cerca de archipiélagos macaronésicos en lo que va de siglo: Delta (2005), Vince (2005), Otto (2010), Gordon (2012), Nadine (2012), Fred (2015), Leslie (2018) y Lorenzo (2019). Sin embargo, aunque se haya registrado un número mayor de eventos en los últimos lustros, se ha de ser prudentes a la hora de afirmar que existe algún tipo de tendencia actual, entre otras cosas porque se trata de fenómenos de escasa frecuencia para las islas estudiadas. No obstante, el previsible calentamiento de las aguas oceánicas del Atlántico, especialmente en el sector oriental, área donde se inserta la región, lleva a proyectar un escenario futuro donde exista una mayor probabilidad de la aparición de fenómenos de este tipo. En ese sentido, es importante señalar que las previsiones del IPCC para el Atlántico establecen que los eventos tropicales se mantendrán estables en cuanto a su frecuencia, pero no en cuanto a su intensidad, la cual aumentará de forma significativa como ya refrendan algunos estudios (Knutson *et al.*, 2010). Debido a esto, es altamente probable que, en un futuro, más o menos cercano, algún ciclón tropical pueda recalcar en archipiélagos como el canario o Madeira, generando daños severos, no sólo como consecuencia de la velocidad del viento sino también de la precipitación y del oleaje, pero sobre todo por la vulnerabilidad que presentan las islas, actualmente poco acostumbradas y preparadas para la presencia de estos fenómenos.

Todas estas evidencias analizadas han servido para conocer la magnitud del efecto del cambio climático en las distintas variables y amenazas. Unos datos que puntualmente han sido complementados con los modelos de regionalización climática de AEMET y que han permitido esbozar los futuros escenarios climáticos previstos para las Islas Canarias. Tres escenarios posibles que tienen en cuenta distintos niveles de emisión de GEI y que proyectan incluso en los supuestos más benévolos unos incrementos térmicos y descensos pluviométricos para final de siglo XXI preocupantes para espacios tan frágiles como las islas.

c-) ¿Cuáles han sido los principales fenómenos meteorológicos extremos en los cuatro archipiélagos que componen la Macaronesia?

La investigación del cambio climático y sus posibles efectos en la Macaronesia ha centrado el interés hasta este momento. Otra aportación de esta tesis doctoral es el conocimiento de la magnitud de los eventos extremos y el calendario del

fenómeno, para así poder comprender sus implicaciones sobre el territorio. En este sentido, si no se conoce el impacto de los eventos acontecidos en el pasado, será muy complicado adoptar medidas que procuren mitigar o reducir los efectos de éstos ante la más que previsible intensificación futura de muchos de ellos. Asimismo, esta investigación retrospectiva ha permitido la aproximación al conocimiento de aquellos espacios más expuestos a sufrir este tipo de amenazas y ha revelado la probabilidad de ocurrencia de estos episodios según las particularidades climáticas de cada archipiélago.

A nivel general se puede afirmar que las características climáticas de los archipiélagos macaronésicos son bastante benignas, incomparables con la mayor parte de las islas tropicales y subtropicales. Sin embargo, en ocasiones, éstas presentan manifestaciones extremas que pueden derivar en importantes desastres. Es el caso de las olas de calor, sobre todo en Madeira y Canarias que, a su vez, son las responsables de la propagación de devastadores incendios forestales. También de los temporales de viento en todos los archipiélagos, pero en especial en Azores, por su mayor exposición a borrascas profundas del Frente Polar y, sobre todo, por el paso de algunos fenómenos inestables de origen tropical como tormentas y ciclones. No obstante, entre las amenazas de génesis climática, las lluvias intensas y torrenciales con efecto de inundación, son las que producen mayores daños y más víctimas. En los cuatro archipiélagos analizados son muy frecuentes y han dado lugar a desastres de gran magnitud.

Siguiendo con esta comparación entre archipiélagos y a escala de más detalle se extraen otras conclusiones. Azores es el archipiélago donde mayor impacto han tenido las amenazas de origen climático, concentrándose éstas principalmente en dos islas del archipiélago: São Miguel y Santa María. Estas islas que sufrieron algunos de los episodios de inundación más destacados de las últimas décadas, como los de octubre de 1974, septiembre de 1982 y septiembre de 1997, con registros todos ellos en el entorno de los 300 mm en menos de 24 horas. Asimismo, ya se ha indicado que las amenazas en el archipiélago portugués se circunscriben a las inundaciones y temporales de viento que, en muchas ocasiones, se derivan del paso de numerosos fenómenos tropicales cuyas referencias históricas se trasladan hasta el siglo XVII, destacando el episodio conocido como San Ciriano de 1899. No obstante, huracanes y tormentas tropicales siguen afectando y causando numerosos daños en Azores y fiel reflejo de esto son los más recientes: Tanya (1995), Gordon (2006) y Alex (2016),

marcando este último un hito en los registros de huracanes en el Atlántico Norte al formarse en un mes tan inusual y poco frecuente como enero.

El otro archipiélago portugués, Madeira, tampoco ha sido ajeno a importantes eventos de inundación. El 9 de octubre de 1803, Madeira sufrió uno de los más importantes episodios de inundación que han asolado la Macaronesia, falleciendo según las crónicas entre 600 y 1000 personas en el municipio de Funchal. Sin embargo, también se han producido registros más recientes de inundaciones como los de diciembre de 1976, octubre de 1993 o los dos episodios de inundación del 2 y 20 de febrero de 2010 que ocasionaron 45 fallecidos y más de 100 heridos. También son habituales las olas de calor y son, además, muy intensas, con registros térmicos próximos a los 40°C. Esta amenaza contribuye de manera decisiva a la propagación de incendios forestales. Un dato que resume la gravedad de este tipo de fenómenos es que entre el año 2000 y 2010 se registraron un total de 73 incendios forestales, con algunos como el de agosto de 2010 que calcinó una superficie equivalente al 11% de la isla de Madeira, afectando de forma notable a su actividad turística.

Cabo Verde, aunque con un régimen pluviométrico totalmente diferente al del resto de archipiélagos, no es ajeno a la amenaza de las lluvias intensas con efecto de inundación. Este archipiélago presenta entre los meses de agosto y octubre la mayor probabilidad de sufrir inundaciones vinculadas con episodios de lluvias extremas, habitualmente asociadas a depresiones originadas en la ZCIT. Los episodios de precipitaciones intensas acontecidos en Cabo Verde revelan un marcado carácter torrencial, con eventos de más de 300 mm en 24 horas, como ocurrió en 1983 en la isla de Santiago, o los más de 240 mm recogidos en el mismo intervalo temporal en la isla de Sal, en septiembre de 2012. Asimismo, la presencia de aire continental proveniente del Sahara da lugar a intensos episodios de olas de calor llegando en algunos episodios a superar los 40°C, registros similares a los que se produjeron en agosto de 2016 y octubre de 2017. Finalmente, aunque de forma puntual, se pueden dar rachas moderadas de viento en algunos puntos, aunque conviene resaltar que en 2015 se dató el primer ciclón tropical en época instrumental al archipiélago: Fred. Este huracán generó serios daños en una de las principales islas turísticas, Boa Vista, debido principalmente a las rachas de viento de hasta 140km/h y al fuerte temporal marino asociado.

De la misma forma, las Islas Canarias, por su posición presenta una gran variedad de riesgos climáticos. Las altas temperaturas han dado lugar a importantes olas de calor como la de julio de 1952 o agosto de 1988, donde se superaron ampliamente los 40°C. La intensidad de estas provoca que, con relativa cierta frecuencia, se originen importantes incendios forestales, como los del verano de 2007 o los más recientes de agosto de 2019. El viento también supone una amenaza que genera importantes daños tanto por su efecto directo sobre las infraestructuras como por vincularse en muchas ocasiones a temporales marinos como los de enero de 1999, abril de 2003 y agosto de 2011. Pero, de entre todos los eventos de origen climático, las inundaciones son las que más daños y víctimas han generado en Canarias. Existen multitud de referencias como noviembre de 1826 con casi 300 fallecidos, enero de 1957 en La Palma con 32 fallecidos o la riada de marzo de 2002 en Santa Cruz de Tenerife con 9 víctimas y más de 200 millones de euros en pérdidas. Por otra parte, los fenómenos inestables de origen tropical suponen otra preocupación más para la planificación y gestión de los riesgos en las islas. Eventos como Delta en 2005 acarrearón importantes estragos en el normal funcionamiento de las islas y pérdidas millonarias. Tratándose de unos eventos que no son nuevos en las Islas Canarias como demuestran los episodios de noviembre de 1826 y diciembre de 1975.

Como se ha presentado durante esta investigación, los fenómenos meteorológicos extremos se vienen repitiendo, al menos, desde el siglo XVI hasta la actualidad. Unas amenazas comunes pero que presentan rasgos diferenciadores entre cada uno de los archipiélagos. Es el caso de las olas de calor responsables de grandes incendios forestales que se concentran en los archipiélagos de Madeira y Canarias; sequías especialmente importantes en las Canarias orientales y Cabo Verde; o temporales de vientos existentes en todos los archipiélagos, pero más destacados en Azores. También destacan el paso de fenómenos inestables de origen tropical que han afectado principalmente al archipiélago de Azores y de manera mucho más ocasional a Madeira, Cabo Verde y Canarias. Pero entre todas las amenazas que se han estudiado, las lluvias de alta concentración espacio-temporal que han derivado en importantes episodios de inundación son, sin duda, la amenaza de origen climático más importante. Además, las precipitaciones torrenciales han generado numerosos desastres en todos y cada uno de los archipiélagos, dando lugar a un importante número de víctimas y daños generalizados.

Dicho esto, todas las amenazas que se han analizado forman parte de los rasgos climáticos de la región y no son ni deben vincularse de forma directa al cambio climático, pues en gran medida los impactos de estos episodios dependen únicamente de los condicionantes socioterritoriales representados por la exposición y la vulnerabilidad, siendo únicamente estos factores los que determinarán los efectos o impactos de estas amenazas en cada una de las islas de los distintos archipiélagos. En definitiva, los extremos siempre han formado parte de la variabilidad natural del clima. Eventos recientes puntuales como el intenso episodio de calima de febrero de 2020 en las Islas Canarias no pueden atribuirse simple y directamente al cambio climático. Éste podría haber ocurrido en la variabilidad climática propia de la región, sin tener un origen demostrado en el cambio climático antropogénico. Es por ello que siguen siendo necesarios avances en esta línea de investigación con el fin de poder determinar el grado de relación entre la acción humana y el aumento en la ocurrencia de un extremo particular en comparación con unas condiciones climáticas en ausencia de la influencia humana.

d-) ¿El turismo en la Macaronesia es una actividad que debemos analizar de forma transversal con el cambio climático y los efectos vinculados a éste?

Hasta aquí se han resuelto sobre todo aquellas cuestiones que tienen que ver, por un lado, con las evidencias del cambio en el comportamiento de elementos climáticos y fenómenos meteorológicos extremos en los archipiélagos de la Macaronesia asociados al cambio climático y, por otro, con la identificación de problemas o posibles impactos derivados de estos cambios. Ahora, con esta pregunta se coloca el foco de atención en la relación entre los impactos derivados de los fenómenos meteorológicos extremos en la Macaronesia y el turismo, como el sector más característico en el desarrollo económico de la región.

Durante los trabajos publicados que conforman el grueso de esta tesis doctoral se ha ido viendo como los efectos del cambio climático se manifiestan, no sólo en la modificación de las actuales condiciones climáticas de la Macaronesia, sino que también se producen cambios en las actividades económicas e incluso en las propias condiciones de vida. En este sentido, el turismo es uno de los sectores más vulnerables debido a que el cambio climático altera las actuales condiciones ambientales, lo que puede modificar la competitividad de muchos destinos. Este es el caso de la Macaronesia, donde se observa cómo los cambios en las

condiciones térmicas y pluviométricas conducen a un más que probable escenario de pérdida de confort térmico junto a un predecible incremento de episodios extremos, alterándose así parte de los atractivos turísticos actuales. Unos cambios que son muy compatibles con la idea expresada por Olcina (2012, p.29) “Las tres exigencias del turista en materia climática (disfrute, confort y seguridad) que señalara Besancenot en 1989 van a verse alteradas en las próximas décadas en los destinos turísticos mundiales”. No obstante, en la competitividad propia de los mercados turísticos es tan importante el deterioro de las condiciones ambientales propias como de los competidores.

Los análisis expuestos a lo largo de esta tesis doctoral en el marco de un territorio tan densamente poblado y explotado desde una perspectiva turística como la Macaronesia, han mostrado, en primer lugar, las amenazas de origen climático a las que están sometidos los territorios insulares y, en segundo lugar, la gran importancia económica del sector turístico en todos los archipiélagos. Canarias y Madeira son las regiones más explotadas y Cabo Verde y Azores, las que presentan una actividad aún más incipiente. En cualquier caso, el elevado número de visitantes implica una alta exposición que, junto con las condiciones climáticas más extremas, determinan riesgos relevantes tanto para la población residente como para los visitantes.

En este contexto, la preocupación por el conocimiento del clima debe ser cada día mayor para adaptar la oferta turística de la mejor manera posible a los rasgos climáticos y a sus valores extremos. Cuando se prevé incorporar la actividad turística en un lugar es imprescindible que se lleve a cabo a través de un proceso integral de planificación territorial, estudiando, no sólo las condiciones favorables para el desarrollo turístico, sino también los posibles riesgos. Uno de los principales desafíos para la gestión territorial en todas las islas será hacer frente a los fenómenos inestables de génesis tropical, sobre todo con el incremento en la probabilidad de ocurrencia como consecuencia del cambio climático. Además, como se ha expresado en muchas partes de esta investigación, hay que destacar la propia vulnerabilidad de los sectores costeros, sobre todo de las islas pequeñas, puesto que la mayoría de los peligros de origen climático incrementarán su intensidad con el ascenso térmico y, particularmente en las costas, con la subida del nivel del mar.

A este respecto, uno de los principales pilares para el desarrollo de la actividad turística futura debería ser la seguridad, tanto de residentes como de turistas, con el fin de crear espacios más sostenibles y reducir el riesgo al máximo. Uno de los postulados de la prevención de riesgos fue planteado por Ulrich Beck (2002, p. 36) citando que “Una probabilidad de accidente mantenida al mínimo es demasiado elevada ahí donde un desastre puede ocasionar grandes pérdidas”. Esta máxima aplicada a un sector tan vulnerable y expuesto a fenómenos meteorológicos extremos como el turismo debería suponer para los gestores del territorio y los planificadores del turismo una preocupación primordial. Tanto a la hora de proteger la vida y los bienes en los múltiples destinos turísticos de las islas, como por el efecto negativo que un desastre puede generar en la imagen de seguridad de un determinado destino.

En esa línea, las Islas Canarias han sufrido, a lo largo de su historia, numerosos eventos meteorológicos de todo tipo y las pérdidas económicas han sido muy cuantiosas en las últimas décadas. La mayor parte de ellas se han producido en los espacios urbanos y turísticos. En este sentido, son conocidos los problemas derivados de la mala planificación de cara a un riesgo, como las inundaciones en algunos sectores turísticos del sur de las islas de Gran Canaria y Tenerife, de manera que no sólo son numerosos los eventos de inundación, sino que se incrementan año tras año (Machado, 2011; Máyer y Pérez Chacón, 2006a). Esa deficiente ordenación del territorio explica los efectos de amenazas como las inundaciones en todas las áreas turísticas del archipiélago. Aun así, la gran irregularidad de las lluvias hace especialmente difícil una planificación urbanística adecuada al medio. Esto hace necesario, por un lado, mejorar la red de observatorios meteorológicos de estos espacios intensamente explotados desde una perspectiva turística con el fin de contribuir a conocer más profundamente sus rasgos pluviométricos; por otro, es imprescindible adaptar la planificación urbanística y las infraestructuras hidráulicas a los valores extremos esperados en estos espacios. Las áreas turísticas se sitúan en su práctica totalidad en los ámbitos costeros de las islas y que además se ven afectadas con cierta asiduidad por otras amenazas como las inundaciones derivadas de temporales costeros (Máyer *et al.*, 2018).

Todas estas reflexiones planteadas anteriormente conducen a un escenario incierto sobre el futuro de la actividad turística en las islas. Ha quedado claro que los impactos del cambio climático tendrán repercusiones importantes en los

establecimientos turísticos, en las playas e infraestructuras situadas en el litoral, en los atractivos de los diversos ecosistemas. Todos estos son cambios ampliamente analizados en la literatura científica (Gómez-Martín, 2005; Wijaya y Furqan, 2018; Scott *et al.*, 2019). Por ello, los destinos insulares como la Macaronesia tendrían que seguir una senda en la que la sostenibilidad ambiental fuese un objetivo inaplazable y es aquí donde la reducción del riesgo debería conformarse como un eje más dentro de este objetivo. Esta pretendida sostenibilidad pasa, entre otras cosas, por implementar acciones de adaptación ante los nuevos escenarios climáticos que producirá el cambio climático en los territorios insulares. Ello más aún en espacios donde cobra especial relevancia el sector turístico debido a su valor estratégico como actividad generadora de riqueza. Tratándose de un sector que ha demostrado su enorme vulnerabilidad ante impactos externos como la crisis derivada del COVID-19, donde algunos estudios ya han apuntado a una reducción de la afluencia turística en regiones con una alta tradición turística como la Comunidad Valenciana de alrededor de un 50% en los mejores escenarios para el año 2020 (Vera-Rebollo y Ibars, 2020). Esta cifra, según estimaciones de la Consejería de Turismo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias, podría llegar al 80% lo que implicaría una reducción del 30% del PIB de un archipiélago como Canarias. Por todo ello, es importante consolidar unos destinos más sostenibles y resilientes, pues probablemente resultarán más atractivos para gran parte de los visitantes más concienciados. Las islas que no “demuestren” su compromiso con la sostenibilidad probablemente pierdan competitividad, al menos, en amplios sectores de las clases medias de los principales países emisores (Alemania, Reino Unido, Francia, etc.).

e-) ¿Cuál ha sido el impacto de los fenómenos meteorológicos extremos en las Islas Canarias?

Tradicionalmente, en la literatura científica (Dessai y Hulme, 2004; MITECO, 2015) ha preocupado mucho más el fenómeno físico del cambio climático que sus consecuencias, lo que se conoce como enfoque descendente (*top-down*). Y el problema no debería ser tanto conocer, por ejemplo, el incremento de la temperatura media, sino el impacto físico, ecológico y económico que puede acarrear este calentamiento, es decir los enfoques ascendentes (*bottom-up*), que ponen el énfasis en las condiciones sociales y socioeconómicas. Este argumento base es el que justificó esta pregunta y a este respecto se han establecido algunas conclusiones y reflexiones ligadas al aspecto económico de los fenómenos

meteorológicos extremos en un archipiélago como el canario, un asunto que ha facilitado comprender mejor los posibles impactos del cambio climático en el futuro.

La base de datos del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), principal entidad encargada del resarcimiento económico de los siniestros de rango extraordinario ocurridos en España, se ha mostrado como un instrumento de gran utilidad. En primer lugar, debido a su concreción espacial y, en segundo lugar, al detalle en el desglose de la información de los eventos climáticos. Estas dos características la posicionan como un recurso de enorme valía para acometer cualquier estudio de evaluación del riesgo a escalas de detalle, como el desarrollado en gran parte de esta investigación.

Canarias constituye una de las Comunidades Autónomas con mayores pérdidas económicas derivadas de las amenazas climáticas. Además, alberga algunos de los sucesos con mayores indemnizaciones cubiertas por el CCS, como el 31 de marzo de 2002 o la tormenta tropical Delta en noviembre de 2005. Este último es uno de los diez eventos más significativos en cuanto a daños económicos se refiere de toda España, lo que evidencia la relevancia de los fenómenos meteorológicos extremos en el archipiélago, tanto en relación a su periodicidad como a sus múltiples implicaciones en la actividad económica de las islas.

Casi 300 millones de euros es la suma del total de indemnizaciones pagadas por el CCS en Canarias entre 1996 y 2016. Una cifra que se concentra en su práctica totalidad en 25 episodios, siendo los más destacados los ya señalados del 31 de marzo de 2002 en Santa Cruz de Tenerife y la tormenta tropical Delta en 2005, así como el temporal de febrero de 2010. No obstante, se ha calculado que esta cifra podría superar ampliamente los 600 millones de euros si se consideran las pérdidas detectadas por las diferentes administraciones locales tras el paso de estos episodios y sin valorar las pérdidas en el sector primario. Este volumen de daños hace evidente tres cuestiones fundamentales: primero, la alta fragilidad de las infraestructuras ante determinados tipos de eventos, como dejó de manifiesto la tormenta tropical Delta y su enorme impacto en la red eléctrica de islas como Tenerife; segundo, la ocupación de sectores con un riesgo elevado de inundación, como puede ser el frente marítimo de Santa Cruz de Tenerife donde las pérdidas para el temporal de enero de 1999 se establecieron en 14 millones de euros (Rodríguez-Báez *et al.*, 2017) o el área costera del municipio de Telde en Gran

Canaria que resultó afectada por las intensas lluvias de octubre de 2015 que acarrearón unos daños de más de 6 millones de euros; y, tercero, la alta vulnerabilidad de muchos espacios ante cualquier evento extraordinario, hasta tal punto que hay municipios que con el paso de un único evento sufrieron daños equiparables a la casi totalidad de sus presupuestos municipales, como es el caso del municipio de Santa Cruz de Tenerife el 31 de marzo de 2002. Este episodio constituye el más grave evento climático sufrido por un municipio canario en cuanto a daños, 218 millones de euros, lo que representa el 81% del presupuesto municipal actual (270 millones de euros).

Asimismo, se comprueba cómo gran parte de estas pérdidas se circunscriben a los sectores litorales de las islas, un hecho que también se advierte en las áreas turísticas donde se aplicó la evaluación del riesgo con unas consecuencias económicas en los bienes asegurados en el periodo estudiado de más de 12 millones de euros. Si bien esta cifra computada para un periodo de 20 años puede parecer no excesivamente alta, debe tenerse en cuenta que las indemnizaciones del CCS son sólo un indicador, a lo que habría que sumar otros mecanismos que se emplean para la recuperación de las actividades económicas, así como el propio cese de lucro que experimentan muchos negocios y servicios ligados al turismo hasta que se reestablece la normalidad. En cualquier caso, esta última idea también valida la enorme importancia de una base de datos como la del CCS debido a la dificultad de cuantificar los daños y al complejo acceso a este tipo de información para aumentar la precisión de las valoraciones económicas.

Para finalizar se plantea la pregunta sobre si estas cifras irán en aumento como consecuencia del incremento en la intensidad y, por tanto, de la peligrosidad de amenazas como los fenómenos tropicales. Así, algunos estudios auguran para las próximas décadas un incremento de las pérdidas económicas por desastres ligados al cambio climático (Bouwer, 2011). Basta con observar cómo año tras año se documenta una tendencia creciente en los daños ocasionados por los desastres de origen climático a escala global (Stern *et al.*, 2007; Coronese *et al.*, 2019). Un patrón que es fundamentalmente consecuencia directa de los cambios en la exposición y vulnerabilidad de los distintos enclaves, un esquema que se repite también en regiones como las Islas Canarias y la Macaronesia en general. Por ello es en la reducción de dichos componentes donde se deben centrar las acciones de adaptación.

f-) ¿Cómo evaluar la vulnerabilidad frente al cambio climático?

Conocer un factor como la vulnerabilidad en todas sus dimensiones constituye un reto difícilmente abarcable en un trabajo de estas características. Desde el interés de esta investigación se ha tratado este concepto como un elemento que tiene la capacidad de reducir el riesgo de desastres pero, a su vez, también es capaz de construirlo. Es en este punto donde la vulnerabilidad se conforma como un elemento de gran valor para comprender las relaciones medioambiente-sociedad. Esto último facilita aislar o identificar parte de los factores que conforman la vulnerabilidad, para valorarlos de manera independiente y así obtener un indicador final. Por tanto, el desarrollo de una propuesta metodológica de evaluación de la vulnerabilidad se ha empleado para estimar, de manera realista y objetiva, la vulnerabilidad producto de las mencionadas interrelaciones en un área turística frente a un riesgo concreto, las inundaciones y bajo el actual contexto de cambio climático.

La evaluación de la vulnerabilidad debe entenderse como una herramienta para ayudar al desarrollo de mejores políticas que reduzcan la magnitud o probabilidad de daño. Al mismo tiempo puede facilitar o promover otros cambios en la sociedad derivados, por ejemplo, de procesos participativos vinculados al propio transcurso de la evaluación. En el caso de un riesgo como las inundaciones, se ha comprobado cómo es posible modelizar la vulnerabilidad de un entorno con una aparente cierta homogeneidad territorial derivada de su profunda especialización turística. Se conformaría entonces un modelo basado en el conocimiento de la amenaza pasada, así como en los factores territoriales que intervienen de forma directa en la mayor o menor susceptibilidad de la aparición del riesgo.

Uno de los procedimientos que se ha desarrollado en esta tesis doctoral (Díaz-Pacheco *et al.*, 2020), se ha basado en la metodología propuesta por Naciones Unidas (UNDRO, 1991), la cual ha demostrado una gran aplicabilidad. En primer lugar, se trata de un método sencillo que se puede calcular con datos e información disponible de fácil acceso, permitiendo realizar una valoración de la vulnerabilidad a través de la observación de los diferentes indicadores que se integran en la ecuación de cálculo como los usos de suelo, las áreas expuestas y la vulnerabilidad específica para cada elemento en riesgo. En segundo lugar, se trata de un método que permite el análisis a escala de detalle; el empleo de la

parcela catastral como unidad de análisis posibilita reducir la escala de los sistemas que se están evaluando por lo que los resultados presentan un mayor grado de confianza. Este es un factor a tener en cuenta en espacios relativamente homogéneos en sus características socioeconómicas, como puede ser un distrito turístico donde la diferencia espacial de la vulnerabilidad está conformada por pequeños matices como la edad de edificación o el número de servicios de cada parcela analizada. En tercer lugar, se trata de un método útil puesto que nos ha permitido la diferenciación espacial del grado de vulnerabilidad a través de un índice con representación cartográfica a escala de parcela catastral. En este sentido, se ha constatado que el valor final está principalmente determinado por la tipología de la parcela, el histórico de eventos y el número de bienes y servicios registrados. Estos factores delimitan cómo los mayores niveles de vulnerabilidad se sitúan en enclaves puntuales del área de estudio, en muchas ocasiones coincidentes con espacios inundables, como es el caso de las playas de El Bobo y del Beril en el municipio de Adeje (Tenerife). Por el contrario, los valores más reducidos se ubican en los primeros asentamientos turísticos de Arona y Adeje, como Los Cristianos y Las Américas, respectivamente, un resultado que se deriva de la antigüedad de sus edificaciones y de presentar una oferta de servicios algo menor a la del resto de unidades catastrales trabajadas. Finalmente, un punto importante a destacar es que el método propuesto también puede resultar de gran interés para áreas con características análogas a la estudiada. Es decir, especialmente para aquellos espacios que presentan un alto grado de transformación territorial como son los ámbitos litorales con una alta dependencia de la actividad turística y una alta probabilidad de sufrir impactos negativos del cambio climático. Estos tres argumentos destacados se repiten, por ejemplo en gran parte gran parte de la franja litoral del resto de los archipiélagos macaronésicos, pero también en muchos sectores de la Península Ibérica, en especial en ámbitos litorales o en las islas mediterráneas.

Además, el método propuesto guarda cierta similitud con los planteamientos de algunos trabajos que responden a la misma pregunta que se ha realizado en este punto: ¿Cómo evaluar la vulnerabilidad frente al cambio climático? Un conocido artículo elaborado por Patt (2005), reflexionaba sobre cómo evitar la tentación de trabajar complejos modelos que integran multitud de variables, muchas de ellas de difícil acceso o muy costosas de implementar para conocer la vulnerabilidad de un entorno. El trabajo termina concluyendo y recomendado que la evaluación de la vulnerabilidad para el cambio climático debería centrarse

en un análisis fundamentado en la gestión del riesgo y el conocimiento de los peligros que enfrenta una comunidad determinada.

En este contexto, y como última conclusión, conocer la vulnerabilidad de forma más exhaustiva debería conformarse como un mecanismo fundamental para responder efectivamente a los riesgos. Usar los resultados derivados del modelo de evaluación para sugerir políticas dará lugar a que el territorio sea menos vulnerable o más resiliente, ante la posible aparición de un riesgo como las inundaciones. Por ello, comprender de forma pormenorizada las variables que integran y controlan el riesgo debería ayudar a los responsables de la toma de decisiones a priorizar las acciones a implementar para disminuir dichas vulnerabilidades como forma preferente de adaptación al cambio climático.

g-) ¿A nivel institucional en la Macaronesia y en particular en las Islas Canarias qué acciones y/o políticas se han desarrollado para afrontar el cambio climático?

Desde la realización de la investigación donde se abordó el objetivo de esta pregunta (López-Díez *et al.*, 2016), posterior a la celebración del Acuerdo de París en el año 2015 y hasta la actualidad (2020), no se han observado cambios significativos de índole institucional respecto a las acciones y políticas desarrolladas para afrontar el cambio climático. Al menos para las Islas Canarias, donde se focalizó el citado trabajo, la acción climática parece continuar en el mismo punto en que se encontraba cuando se analizó de manera exhaustiva. Esto es aletargada y circunscrita a los mismos y escasos documentos institucionales e iniciativas sin ningún valor de aplicación real. Se trata de unas iniciativas cuyo máximo logro en estos años han sido las conocidas declaraciones de emergencia climática previas a la COP25 de Madrid, unos documentos que, aunque pretenciosos y enfocados en su gran parte en la transición energética, no dejan de ser, otra vez, meras declaraciones de intención.

Si bien la base científica que debe soportar el diseño de las políticas y acciones frente al cambio climático se ha consolidado con el paso del tiempo, esto no ha implicado que las acciones institucionales se hayan desarrollado a la misma velocidad ni con la misma importancia en lo que a mitigación y adaptación se refiere. No es hasta los últimos años, fundamentalmente a partir de la COP16 de 2010 con el “Marco de Adaptación de Cancún” cuando la adaptación ha ganado

una mayor atención y protagonismo por parte de los responsables políticos. Sin embargo, esta mayor relevancia se limita básicamente al ámbito internacional donde se refleja cada vez más el papel destacado de la adaptación frente a la mitigación como quedó de manifiesto en el Acuerdo de París en 2015. Pero esta transposición a otras escalas como la europea, nacional y regional evidencia aún una clara apuesta por la reducción de GEI, obviando cómo el éxito de esta política depende exclusivamente de complicados acuerdos globales y no tanto de acciones puntuales que contribuyan a la reducción de GEI. Esto constituye un hecho que también se pone de manifiesto en el actual anteproyecto de “Ley de Cambio Climático y Transición Energética” de España, un texto enfocado en la mitigación y que relega a la adaptación a un segundo plano, siendo este un hecho realmente preocupante, más aún, si consideramos los más que probables incrementos o aparición de nuevos riesgos que sufrirán muchas áreas del país.

Las iniciativas institucionales en materia de adaptación han sido escasas en archipiélagos como Azores y Madeira e inexistentes en el caso de Cabo Verde. Los archipiélagos portugueses cuentan con la “Estratégia Regional para as Alterações Climáticas da Açores” aprobada en 2011 y la “Estratégia de Adaptação às Alterações Climáticas da Região Autónoma da Madeira” de 2015. Unos instrumentos de diagnóstico que, aunque bastante escuetos, sí es cierto que se centraron en establecer sendas hojas de ruta en materia climática. En este sentido, los pocos avances en materia de adaptación también se han vinculado con proyectos de cooperación regional para el conjunto del ámbito macaronésico, como son, entre otros, el caso de ADAPTARES y MAC-CLIMA. El primero está centrado en la mejora del uso del agua en los archipiélagos y el segundo en la observación climática de la región y en el impulso de acciones de formación y concienciación sobre los riesgos.

En las Islas Canarias los principales avances se promovieron a partir de la conocida “Estrategia Canaria de Lucha contra el Cambio Climático” en 2009 mediante la cual se impulsó la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático, ente que se encargó de elaborar los planes de mitigación y adaptación de las islas. Sin embargo, estos planes y la propia Agencia se paralizaron en 2011 en el marco de las medidas adoptadas por el Gobierno de Canarias para reordenar y racionalizar el sector público autonómico. A nivel institucional en las islas no sería hasta 2017 cuando se reactivó el interés por la acción climática con la creación del Observatorio Canario de Cambio Climático en 2017 e implantado en 2018.

Constituye un organismo técnico-asesor que carece de carácter autónomo y sin ninguna capacidad ejecutiva, al menos hasta la redacción de estas líneas. Un organismo sin amparo legal para impulsar ningún tipo de actuación, más allá de su función consultiva. En esta línea la única acción institucional a escala regional ha sido la Declaración de Emergencia Climática de 2019, un documento que pretende comprometer en los próximos años el desarrollo de políticas que afronten las cuestiones derivadas del cambio climático. Entre estas nuevas iniciativas se remarca la necesidad de una Ley Canaria de Cambio Climático que actualmente está en fase de redacción, pero cuya primera consulta pública bajo forma de proyecto de Ley evidenció un marcado sesgo hacia la mitigación, al igual que la mencionada ley nacional. A escala insular la situación tampoco es nada halagüeña. Las pocas actuaciones han estado centradas en la eficiencia energética, tal como recoge el reciente “Informe de fiscalización operativa de la adaptación de los Cabildos Insulares al cambio climático” elaborado en 2019 por la Audiencia de Cuentas de Canarias. Entre sus múltiples conclusiones también certifica como “Los cabildos insulares no disponen de planes de adaptación al cambio climático y tan solo uno ha elaborado la evaluación general de riesgos y vulnerabilidades (ACC, 2019, p.24)”, una afirmación concluyente que refleja el estado actual de las políticas y acciones en materia de adaptación al cambio climático en las Islas Canarias.

Además, este análisis ha puesto de manifiesto la polarización entre los puntos de vista de los científicos y el quehacer político e institucional en materia climática. Y, pese a que, en los últimos años, la adaptación ha ganado mayor atención, se sigue evidenciando en regiones como la Macaronesia un claro déficit de este tipo de políticas, existiendo una clara apuesta por la mitigación, aunque sin aplicación real. En ese sentido es importante recordar que ésta presenta una perspectiva global y, por tanto, su éxito depende de las políticas y acuerdos en otros territorios. Esto da lugar a que una región como Canarias cuyos aportes globales de emisiones de CO₂ apenas representan el 0,037% no debería concentrar todos sus esfuerzos en mitigación, más aún atendiendo a los impactos tratados en esta investigación y su afección en sectores claves para la economía como el turismo. No obstante, esto tampoco significa que no se deban seguir impulsando políticas de mitigación, sino al contrario, se han de enfocar como políticas que contribuyen de manera directa a lograr objetivos asociados a la adaptación y al desarrollo de un territorio más sostenible y resiliente.

h-) ¿Podemos entender la evaluación del riesgo y de la vulnerabilidad como acciones de adaptación al cambio climático?

Es evidente que en un contexto de cambio climático cada vez se hace más necesario sobrepasar las visiones tradicionales sobre la mitigación e ir hacia las mejoras de las capacidades de adaptación y la resiliencia de nuestros territorios. Sin embargo, responder a esta última pregunta con una única solución sería bastante osado y sobre todo incoherente con el fundamento de complejidad que hemos atribuido al cambio climático. Además, siguiendo los argumentos de Füssel (2007) se reconoce que no existe un único enfoque para evaluar, planificar e implementar las medidas de adaptación. Estas acciones han de responder siempre a cada realidad territorial y se han de desarrollar de manera flexible con los diferentes enfoques metodológicos existentes, pues esta es la única forma de producir unos resultados y conocimientos útiles para el contexto en donde se quiere implementar la adaptación.

Como ya se ha expuesto, son múltiples las perspectivas y disciplinas desde las que se puede abordar la adaptación. Esta tesis doctoral se ha vertebrado en torno a la reducción del riesgo de desastres (RRD) y siempre desde una óptica geográfica. En este sentido la RRD ha ido variando en los últimos años desde una visión centrada en la respuesta o la gestión del desastre hasta los actuales enfoques más amplios y complejos que buscan reducir el riesgo de desastres y así minimizar las consecuencias negativas para la vida humana y las actividades económicas (Innocenti y Albrito, 2011). Este nuevo paradigma de la RRD se ha ido consolidando a través de documentos como el Marco de Acción de Hyogo y el posterior Marco de Sendai para la RRD de UNDRR, unos instrumentos sobre la gestión integral del riesgo que han sido asumidos en el Quinto Informe del IPCC en su informe sobre "Impactos, adaptación y vulnerabilidad", así como en algunos trabajos científicos referenciados durante la presente investigación (Kelman, 2015, Kelman *et al.*, 2015). En este contexto se configura la RRD como parte fundamental de las acciones de adaptación debido a que ambas persiguen un mismo objetivo: reducir los impactos de las amenazas en el territorio. Para lograr este objetivo la evaluación del riesgo se dispone como el primer paso a implementar (Narváez *et al.*, 2009; Riddell *et al.*, 2019) a través de la integración del conocimiento y análisis de los diferentes elementos que conforman el riesgo, siendo la vulnerabilidad como, se ha expuesto el principal desafío a abordar dentro de esta evaluación.

En el transcurso de esta tesis doctoral se han ido generando los aportes necesarios para acometer el último objetivo a tratar: evaluar el riesgo sobre un área litoral turística como el suroeste de Tenerife. Esta evaluación no sólo ha integrado gran parte de la información obtenida de los trabajos previos, sino que, como novedad para la mejora de la información relativa a la amenaza, se ha incluido información proporcionada por la bbdd del Centro de Coordinación de Emergencias (112) del Gobierno de Canarias, para así poder caracterizar de forma más amplia un fenómeno como las inundaciones. La bbdd ha mostrado ser una herramienta de gran utilidad por su nivel de información y detalle para acometer cualquier caracterización de riesgos a escalas territoriales de precisión o detalle. Toda esta información ha permitido analizar el riesgo de inundación de dos ámbitos litorales como Arona y Adeje identificándose aquellas áreas de mayor riesgo las situadas en Torviscas, Puerto Colón en el caso de Adeje y Las Américas y Los Cristianos en Arona, unas áreas que en ocasiones han manifestado una alta dependencia de las variables identificadas para el cálculo de la vulnerabilidad.

Conocer los impactos locales y su afección en sectores como el turismo es imprescindible para identificar e implementar medidas específicas de adaptación. Y es en este punto, una vez finalizada la evaluación, cuando ésta se convierte en un instrumento de adaptación. De esta forma se adquiere una visión integral, tanto de los componentes que articulan y generan el riesgo, como de la zonificación espacial de este. Esta información podrá permitir a las personas encargadas de formular políticas identificar aquellas áreas prioritarias, así como formular las mejores estrategias que ayuden, no sólo a reducir los riesgos, sino también a optimizar las inversiones públicas.

Además de esta evaluación, como respuesta a la pregunta realizada se ha abordado y puesto en práctica una metodología participativa, como complemento al trabajo técnico y científico de la ya referenciada evaluación del riesgo. Una metodología participativa que está en consonancia con muchos de los marcos normativos internacionales e incluso nacionales que reconocen el importante papel de incluir a la sociedad civil en los procesos de RRD (Van Aalst *et al.*, 2008; Asare-Kyei *et al.*, 2015; Ley 17/2015²³; Díaz-Pacheco *et al.*, 2017). De esta forma no sólo la capacitación y concienciación generada durante los procesos participativos se puede considerar como una medida de adaptación

²³ Ley 17/2015, de 9 de Julio, del Sistema Nacional de Protección Civil. Artículo 7: Derecho a la participación.

educativa, sino que contribuye a generar sociedades menos vulnerables y con una mayor capacidad de adaptación y recuperación ante los impactos, lo que lleva implícita la mejora de la resiliencia de las comunidades locales.

En definitiva, la adaptación al cambio climático plantea múltiples desafíos tanto para investigadores como para responsables políticos. Además, se requiere navegar en una gran cantidad de información y recursos, como se ha visto a lo largo de esta tesis doctoral, para abordar procesos a escala de detalle. Asimismo, implica involucrar a una amplia gama de actores que permitan que las respuestas de adaptación sean social y políticamente sostenibles, y aquí la participación se conforma como una acción casi obligatoria. Sin embargo, a pesar de estas complejidades, uno de los beneficios de la adaptación, como defiende Davoudi y Libby (2012) es que su éxito no depende de crear nuevas y complejas herramientas de planificación, más bien, lo que se requiere es incorporar la adaptación en las políticas e instrumentos de planificación ya existentes.

III.1.2. Conclusión general

Escribía el Premio Nobel de Economía William Nordhaus (2013, p. 32) que “Tanto la fuente del problema [del cambio climático] como la solución al mismo están en el ámbito de las ciencias sociales”. Y en este sentido este trabajo de investigación ha querido tratar desde las ciencias sociales y en concreto desde la perspectiva de la Geografía una aproximación a la RRD como estrategia de adaptación frente a los impactos derivados del cambio climático en la Macaronesia. Durante estas páginas se ha podido comprobar cómo las investigaciones del cambio climático en la Macaronesia ya presentan cierta convicción de que se están produciendo cambios en las actuales condiciones climáticas y que es más que probable que estos cambios lleven aparejados un incremento en la peligrosidad de los eventos extremos. Sin embargo, en esta tesis doctoral no se ha querido plantear únicamente si se dan determinadas amenazas y su frecuencia, sino qué se puede hacer para gestionarlas. Esta escueta pero compleja pregunta se ha abordado a través de la realización de los trabajos publicados o en vías de publicación presentados en el bloque II, de los que se concluye una idea general: para incrementar la resiliencia de un territorio concreto se requiere de dos acciones prioritarias, por un lado, reducir su vulnerabilidad y por otro, incrementar su capacidad de adaptación. Dos hechos que son integrados de forma precisa a través de los nuevos enfoques de RRD que

analizan el riesgo como un sistema multifactorial donde la evaluación del riesgo es la herramienta que permite extraer y comprender de forma individualizada cada uno de los parámetros que provocan el riesgo. No obstante, esta investigación ha tratado de hacer una pequeña aportación más, dentro del amplio espectro de trabajos vinculados con el cambio climático, con el objetivo final de que la metodología empleada en esta tesis doctoral pueda servir de ejemplo de aplicación en otros espacios insulares o litorales, de similares características, con el propósito de que pueda contribuir al diseño de políticas para afrontar el cambio climático.

III.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El cambio climático es uno de los asuntos más preocupantes y quizás el mayor desafío de nuestro tiempo. Por ello no hay solución a este problema que no pase por continuar avanzando y mejorando tanto a nivel científico como político/institucional. Con la única intención de que estos nuevos conocimientos y soluciones puedan facilitar alcanzar los tan deseados objetivos de sostenibilidad. A este respecto, el desarrollo de esta tesis doctoral ha dejado tras de sí una serie de resultados que podrán ser empleados a posteriori en nuevos trabajos relacionados tanto con el estudio del cambio climático en la Macaronesia como con la RRD. Al mismo tiempo abre nuevos espacios para realizar futuras investigaciones que complementen o incluso mejoren los trabajos que han abordado cada uno de los objetivos de esta tesis doctoral.

En primer lugar, es importante seguir profundizando en las evidencias actuales del cambio climático en nuestros archipiélagos y en las posibles consecuencias derivadas de esto. Aunque, en líneas generales, existen publicaciones que han permitido caracterizar las evidencias y consecuencias del cambio climático es cierto que estos trabajos suelen abordar escalas de trabajo de baja resolución. Teniendo en cuenta esto y desde el ámbito de la climatología se abre una interesante línea de trabajo que aborde escalas más detalladas a través de explotar la información de las diferentes redes de estaciones meteorológicas de las islas. A modo de ejemplo se exhibió durante la presente investigación la gran importancia de la alta montaña en la evaluación de los efectos del cambio climático, un sector que manifiesta importantes variaciones en los registros térmicos, principalmente de los valores mínimos. Pero aún se desconoce si en estos sectores hay otro tipo de singularidades climáticas que permitan advertir

otros cambios que puedan a su vez repercutir por ejemplo en el comportamiento de la vegetación de estos emplazamientos. Al igual que esta inquietud son muchas otras las que se plantean con la finalidad de acometerlas en futuros trabajos. Preguntas vinculadas con otros elementos como las advecciones de aire sahariano cuyos últimos episodios invitan a pensar que en los últimos lustros ha podido existir un incremento en cuanto a su frecuencia e intensidad. Del mismo modo y relacionado con esta fenómeno resulta de gran interés abordar estudios que interrelacionen y analicen la tendencia entre la evolución del número de incendios y la superficie quemada en islas como Madeira, Tenerife o Gran Canaria, unos resultados que podrían ser de gran interés para el manejo de este riesgo.

En segundo lugar, la metodología de evaluación del riesgo presentada debe seguir enriqueciéndose con nuevas aportaciones. Es ampliamente conocido que cualquier estrategia como puede ser la RRD se consigue de forma progresiva. Teniendo esto en cuenta, las evaluaciones del riesgo tendrán una mayor precisión, cuantas más condiciones de cada elemento (amenaza, exposición, vulnerabilidad) se sea capaz identificar y, sobre todo, cuantas más relaciones puedan preverse, tanto entre los condicionantes de cada elemento, como entre los mismos elementos que generan el riesgo.

Asimismo, es importante destacar que en esta tesis doctoral se ha acometido un primer paso para comprender dicha evaluación. La propia dinámica del territorio da lugar a que se haga oportuno seguir profundizando en las diferentes dimensiones que generan la vulnerabilidad. Se trata de incorporar, por tanto, nuevos indicadores de vulnerabilidad que complementen los ya trabajados, lo cual puede producir un modelo aún más preciso. Indicadores sobre accesibilidad a los diferentes servicios públicos e infraestructuras, tipos de materiales de las edificaciones, rasgos y características de las redes de abastecimiento, etc., pueden reproducir de forma más fidedigna los sistemas urbanos de los municipios trabajados. Pero, además de los ejemplos citados anteriormente, sería muy importante también tratar indicadores sobre la vulnerabilidad de las personas (edad, educación, nivel formativo, conciencia ambiental, discapacidad, salud, etc), tanto para poder incrementar su seguridad como por la más que previsible repercusión que esto puede tener en los niveles de riesgo final. Del mismo modo, esta investigación se ha centrado sobre un único riesgo, las inundaciones. Este hecho compromete en cierta medida a seguir estudiando el impacto de otras amenazas de origen climático en las áreas seleccionadas y producir nuevas

evaluaciones individualizadas. Esto es importante en áreas como las nuestras propensas a sufrir varios peligros naturales, y en donde la reducción efectiva del riesgo sólo es posible si se consideran y analizan todas las amenazas relevantes.

En tercer lugar, en este trabajo se ha abordado la adaptación como política fundamental de acción climática a escala local. Una escala donde la Geografía como ciencia es ampliamente capaz de aportar soluciones a los múltiples retos territoriales que traerá asociado el cambio climático. Es por ello y en este contexto donde esta tesis también persigue incentivar el desarrollo de futuras líneas de investigación capaces de articular no sólo el que debería ser el primer paso en un proceso de adaptación (la evaluación del riesgo), sino seguir trabajando en identificar opciones de adaptación que reduzcan las vulnerabilidades y aseguren el camino hacia un desarrollo realmente sostenible de nuestros territorios.

III.3. CONCLUSIONS

A set questions have focused part of this research and its publications. For this reason, the final block of conclusions has been formulated following the order of posing these questions. Below are a series of conclusions in this regard.

III.3.1. Conclusions on research questions

α-) What is the state of the issue of climate change in island areas and specifically in Macaronesia?

The scientific evidence leaves no doubts about the multiple alterations in the main climatic elements at a global level, but, in addition, this effect also manifests, has been demonstrated and is already evident, in specific regions. This is the case of the Macaronesia archipelagos.

Regarding temperatures, it should be noted that it has been the most studied parameter and whose results are more solid from a statistical perspective. The thermal increase since the beginning of the 20th century has been generalized for the entire region, with a very important rise from the 70-80s, an increase that, although a little lower than the global average, does resemble that of other archipelagos. The island regions, too, are the ones that will suffer the most from the consequences of global warming. The islands of Mauritius and the Bahamas are well-studied case examples with similar results (Cropper and Hanna, 2014) to

those in our study area. In the same way, this generalized thermal ascent in the Macaronesian region has two characteristics, it is especially important in the high mountain sectors of the islands, that is, in the upper layer of the thermal inversion typical of trade winds and, secondly, it is more pronounced at minimum values than at maximum values.

This last fact is causing both the decrease in thermal amplitude and an appreciable increase in the number of tropical nights. Aspect that is directly related to a higher risk of mortality, mainly among the most vulnerable groups such as the elderly (Grizea *et al.*, 2005; Royé and Martí, 2015). In addition, these thermal variations also show other effects such as loss of thermal comfort, this being an important factor for the development of tourism in the islands. Likewise, and although it hasn't been the direct object of study, it should be noted that thermal changes also have broader consequences, for example, generating altitude variations in the location of some plant species. Changes that will make some species move to climatic zones that are better adapted to their ecological demands (Jump *et al.*, 2009; Patiño *et al.*, 2016). Finally, looking to the future, according to the IPCC, in no case is a warming of Macaronesia below one degree Celsius expected by the end of the century, pointing towards a more than likely thermal increase of between one and a half to two degrees above the temperature recorded with respect to the average value between 1986 and 2005.

The analysis of rainfall is more difficult to deal with statistically, especially in territories with a high rainfall irregularity such as the Canary Islands or Cape Verde. This fact determines that the statistical results aren't entirely conclusive, although it is true that some of the works analyzed show a slight decrease over the totals of the last decades, in line with the results shown by the IPCC for the region of the Macaronesia. Regarding future trends for the end of the 21st century, these are less encouraging, indicating a reduction of between 12% and 23% (AEMET, 2015) depending on the emission scenarios that are managed. Even if these predictions were not fulfilled, there could be a paradox that, with the same precipitation totals, the availability of the water resource will be lower, mainly due to the trend of intensification of the rain that is already being experienced in Macaronesia. On the other hand, alterations in the seasonal distribution of precipitation are beginning to appear. In the Canary Islands, for example, a certain seasonal shift in winter precipitation has been demonstrated, with a statistical decrease in precipitation between the months of November and January that has

been partially offset by an increase in rainfall in the months of February and March and a significant increase in summer precipitation, being this increasingly common (López-Díez *et al.*, 2017). Changes that could generate desynchronizations in the ecological cycles of some species.

In another respect, we can see, as we have already mentioned, changes in the rainfall. In the first place, with an increase in its torrentiality, with episodes of rain that have generated numerous fatalities and severe economic losses, such as that of March 31, 2002 in Santa Cruz de Tenerife. Secondly, with an intensification of droughts, especially in the high mountains, registering the driest winters in the last decade of the 20th century and so far, in the 21st century. Linked to droughts, it is interesting to mention the existence of works that have proven an increase in potential evapotranspiration in islands such as Tenerife (Martín and Pérez, 2019) which. Added to the foreseeable decrease in precipitation to the end of the century, it could mean an increase considerable of this risk, droughts, and the availability of water. This is an especially important fact for one of the most vulnerable sectors to climate change: agriculture.

Changes in sea level also indicate a generalized increase, already examined for some islands such as Tenerife (Marcos *et al.*, 2013). However, future projections still have a high degree of uncertainty. Based on the scenarios and models that are analyzed, a variability for the end of the 21st century of between 18.6 cm and 131.5 cm is estimated. These average values don't consider the waves derived from situations of instability or the tides. Another important fact is that the projected increase can considerably raise the exposure of the infrastructures located on the islands' front line, a space where the main tourist centers of the islands are concentrated. Similarly, this rise in sea level can also compromise the survival of some highly valuable plant species and ecosystems, such as the Maspalomas Dunes in Gran Canaria.

Regarding the wind, the studies confirm an increase in the intensity of the trade winds since 1970, which refutes the idea put forward by Andrew Bakun in 1990. In this respect, not only the intensity could be undergoing variations of the altitude of the inversion with which they blow, but the trade winds (Spearling *et al.*, 2004²⁴) could also descend at the end of the century and therefore the base

²⁴ It's probable, as evidenced in one of the works of this doctoral thesis (Dorta *et al.*, 2018), that the results of Spearling *et al.* are justified by the incompleteness of some of the data series used.

of the sea of clouds. This would suggest possible ecological consequences for cloud forests, such as the Macaronesian laurel forest. All these modifications, as some authors point out, could be due to the changes in the position and extension that the Atlantic Anticyclone is experiencing, a fact that could also justify the increase in the frequency of the Saharan air advections over the Macaronesian region during the cold months (Sanz *et al.*, 2007). This last idea, which is complemented by future forecasts, even with many uncertainties (García-Herrera *et al.*, 2016; Dorta *et al.*, 2018), would lead to an increase in the number of episodes during the winter months. In this context, a very recent extreme episode, which occurred in February 2020, where historical concentrations of dust were recorded, could symbolize an "excellent photo" of the islands future climate in relation to these phenomena.

In this context, from a review of the evidence observed in the trends of some climatic variables, the Macaronesian region is also no stranger to the increase in risks derived from climate change. The IPCC itself has already pointed out the high probability that the frequency of extreme weather events globally will increase. This is a conclusion that some publications are beginning to prove for our insular context.

Heat waves show an increase, both in extreme values and their frequency, especially in the extension of high temperatures towards autumn and, especially, spring. The main consequence of these episodes is related to forest fires, causing the seasonality of these to spread and large forest fires to appear in relatively cold months but which are rare, such as March or April. In addition, throughout the present century the most serious fires in the history of the Canary archipelago have taken place. Among them, those of July 2007, in Tenerife and Gran Canaria, 2012 in La Gomera and 2019 in Gran Canaria.

But undoubtedly, the most disturbing meteorological events regarding possible impacts on the archipelagos are unstable phenomena of tropical origin, storms and tropical cyclones, which could be showing a probable tropicalization of the climate of the region. In this regard, an increase in tropical phenomena that circulate near Macaronesia has been observed, even reaching unusual areas such as the case of Delta in 2005 in the Canary Islands, Otto for Madeira in 2010 or Fred

Therefore, the results shown in this article could be less solid than those stated in the publication.

in 2015 in Cape Verde. However, these haven't been the first episodes, since there have been past events of worse consequences, at least in December 1975 and November 1826 in the case of the Canary Islands. However, the main novelty is not its appearance but the tendency to the concentration of these phenomena in the last two decades.

Finally, it should be noted that the Macaronesian islands represent a territorially insignificant CO₂ emission rate in the global context, however, it will be the island regions that most suffer the impact of climate change. For this reason, the management of hazards such as heat waves and forest fires, torrential rainfall and, more than likely the presence of tropical storms and cyclones, must constitute a challenge for land use planning and the different civil protection systems in the different archipelagos. Only an exhaustive evaluation of the possible effects of these events will allow us to start working to promote adaptation processes to climate change in the region.

b-) How can new scientific evidence be established to help consolidate the published data?

The first step in understanding the challenges of climate change must involve having a sound scientific foundation. Under this premise, new results have been developed that support some of the future projections in our field. Although some variables have been analyzed, rainfall and, secondly, temperatures have focused part of these new contributions. Firstly, a decreasing trend has been observed, with low statistical significance with respect to rainfall totals in series such as Izaña (1920-2016), in line with the rest of the scientific literature consulted. Also, for this same series, an intensification of very dry winters has been proven, concentrating these, in the last years of the series, which raises an interesting hypothesis: if the effective decrease in precipitation may be more associated with an intensification of droughts that to this slight reduction in rainfall totals, something that some studies have already indicated (Tarife *et al.*, 2012; Máyer *et al.*, 2017). Secondly, another remarkable element that can be observed is the changes in the seasonal distribution of rainfall. In the case of the Canary Islands, the summer rains have been worked, which begin to show signs of change in recent times, to such an extent that there have been three important events in the month of August in recent years (2003, 2005 and 2015). Its relevance is evident when checking the weight of the pluviometric contributions in the annual

context, coming to suppose, in the last event, 1700% of the average precipitation for August and almost 22% of the annual total, when the average value is 1.27%. The data analyzed for the summer months indicates a significant trend in island stations such as La Palma and El Hierro, and even if we focus the analysis only in the month of August, it can be seen how this statistical significance is extended to stations on other islands such as Izaña, in Tenerife. This increasingly frequent appearance of episodes of intense precipitation in the summer could herald a possible tropicalization in the climatic conditions of the region, a fact that could be associated with the increase in ocean temperatures in the South-East North Atlantic (Kossin, 2008; Guijarro *et al.*, 2014).

On the other hand, the analysis of the temperature has focused towards warm thermal extremes such as that of May 2015. There are unusual records for spring to the point that its statistical treatment separately could resemble an outlier. The heat wave of May 2015 broke temperature records in numerous stations, mainly those located on the eastern islands of the Canary archipelago such as Fuerteventura and Lanzarote, with values up to 6°C above the absolute maximum recorded up to that time, in 1986. In this regard, the statistical analysis in stations such as the Lanzarote airport shows a statistically significant trend in the increase in maximum temperatures in months such as May. These data could serve as evidence to also demonstrate the extension of the summer season towards spring, as is happening in other areas (Jansá *et al.*, 2016) and the lengthening of the period of affection of very intense heat waves, with values above 35°C. A factor, this last one, which could also influence the spread of forest fires outside the usual season.

As already cited in some of the works (Dorta *et al.*, 2018) linked to this research, among all extreme events, those of greatest interest from a scientific perspective are phenomena of tropical origin. In this line, and despite the complexity of the treatment of the phenomenon, a high recurrence has been observed in recent years. 2005 marked a climatic milestone, both due to the tropical storm Delta and the fact that Vince was the first tropical cyclone, scientifically verified, to reach the Iberian Peninsula. However, these haven't been the only events, up to eight tropical storms have passed near Macaronesian archipelagos so far this century: Delta (2005), Vince (2005), Otto (2010), Gordon (2012), Nadine (2012), Fred (2015), Leslie (2018) and Lorenzo (2019). However, even though a greater number of events have been tested in the last five years, it is necessary to be cautious when

affirming that there is current trend, among other things because these are rare phenomena for the islands studied. However, the foreseeable warming of the Atlantic Ocean waters, especially in the eastern sector, an area where the region is inserted, leads to project a future scenario where there is a greater probability of the appearance of phenomena of this type. Because of this, it is important to note that the IPCC forecasts for the Atlantic establish that tropical events will remain stable in terms of their frequency, but not in terms of their intensity, which will increase significantly, as some studies have already endorsed (Knutson *et al.*, 2010). In this sense, it is highly probable that, in the near future, some tropical cyclone could land in archipelagos such as the Canary Islands, causing severe damage, not only as a consequence of wind speed but also of precipitation and waves, but above all due to the vulnerability that these islands present, currently little prepared for the presence of these phenomena.

All these analyzed evidences have served to know the magnitude of the effect of climate change on the different variables and threat. Some data that have been punctually supplemented with AEMET's climate regionalization models and that have allowed us to outline the future climate scenarios foreseen for the Canary Islands. Three are three possible scenarios that consider different levels of GHG emissions and that project, even in the most benevolent scenarios, some thermal increases and rainfall drops at the end of the 21st century, that are worrying for spaces as fragile as the islands.

c-) What have been the main extreme meteorological phenomena in the four archipelagos of Macaronesia?

Research on climate change and its possible effects on Macaronesia has focused interest until now. Another contribution of this doctoral thesis is the knowledge of the magnitude of extreme events and the calendar of the phenomenon, in order to understand its implications on the territory. In this sense, if the impact of past events isn't known, it will be very difficult to adopt measures that seek to mitigate or reduce the effects of these, face of the more than foreseeable future intensification of many of them. Likewise, this retrospective investigation has allowed the approach to the knowledge of those spaces most exposed to suffer this type of hazard, and has revealed the probability of occurrence of these episodes according to the climatic characteristics of each archipelago.

At general level, it can be said that the climatic characteristics of the Macaronesian archipelagos are quite benign, like the tropical and subtropical islands. However, sometimes they present extreme manifestations that can lead to major disasters. This is the case of heat waves, especially in Madeira and the Canary Islands, which, in turn, are responsible for the spread of devastating forest fires. Also, wind storms in all the archipelagos, but especially in the Azores, due to their greater exposure to deep storms on the Polar Front and, above all, due to the passage of some unstable phenomena of tropical origin such as storms and tropical cyclones. However, among the hazards of climatic genesis, the intense and torrential rains with the effect of flooding are those that produce greater damages and more victims. In the four archipelagos analyzed they are very frequent and have given rise to disasters of great magnitude.

Continuing with this comparison between archipelagos and at a more detailed scale, these are other conclusions. Azores is the archipelago where the hazards of climatic origin have had the greatest impact, concentrating mainly on two islands of the São Miguel and Santa María archipelago. These islands suffered some of the most outstanding flood episodes of the last decades, such as those of October 1974, September 1982 and September 1997, with records all of them around 300 mm in less than 24 hours. Likewise, it has already been indicated that hazards in the Portuguese archipelago are limited to floods and wind storms that in many occasions derive from the passage of numerous tropical phenomena whose historical references carry over to the 17th century, highlighting the episode known as San Ciriano from 1899. However, hurricanes and tropical storms continue to affect and cause numerous damages in the Azores, and a faithful reflection of this are the most recent: Tanya (1995), Gordon (2006) and Alex (2016), the last one marking a milestone in hurricane records in the North Atlantic by forming in such an unusual and infrequent month as January.

The other Portuguese archipelago, Madeira, has also been no stranger to major flood events. On October 9, 1803, Madeira suffered one of the most important flood episodes that have devastated Macaronesia, dying between 600 and 1,000 people in the municipality of Funchal. However, there have also been more recent records of floods, such as those of December 1976, October 1993, or the two flood episodes of February 2 and 20, 2010 that caused 45 deaths and more than 100 injuries. Heat waves are also common and, above all, they are very intense, with thermal records close to 40°C. It is a hazard which contributes decisively to the

spread of forest fires. A data that summarizes the severity of this type of phenomenon is that between 2000 and 2010 a total of 73 forest fires were registered, with some such as August 2010, which burned an area equivalent to 11% of the island of Madeira and notably affecting its tourist activity.

Cape Verde, although with a totally different pluviometric regime from the rest of the archipelagos, is no stranger to the hazard of intense rains with the effect of flooding. This archipelago presents between the months of August and October the highest probability of suffering floods linked to episodes of extreme rainfall, usually associated with depressions originating in the ITCZ. The episodes of intense precipitation that occurred in Cape Verde reveal a marked torrential nature, with events of more than 300 mm in 24 hours, as occurred in 1983 on the island of Santiago, or the more than 240 mm collected in the same time interval in the island of Sal, in September 2012. Likewise, the presence of continental air from the Sahara gives rise to intense episodes of heat waves, reaching in some episodes over 40°C, records similar to those that occurred in August 2016 and October 2017. Finally, although occasionally, there may be moderate gusts of wind at some points, although it should be noted that in 2015 the first tropical cyclone was recorded in the instrumental era of the archipelago: Fred. This hurricane caused serious damage to one of the main tourist islands, Boa Vista, mainly due to wind gusts of up to 140 km/h and the associated strong marine storm.

In the same way, the Canary Islands, due to its position, present a great variety of climatic risks. The high temperatures have given rise to important heat waves such as the one in July 1952 or August 1988, where 40°C were widely exceeded. The intensity of these causes, with relative certain frequency, major forest fires to start, such as those of the summer of 2007 or the most recent ones of August 2019. The wind also poses a hazard that generates significant damage due to its direct effect on infrastructures such as being linked on many occasions to sea storms such as those of January 1999, April 2003 and August 2011. But, of all the events of climatic origin, floods are the ones that have caused the most damage and casualties in the Canary Islands. There are many references such as November 1826 with almost 300 deaths, January 1957 on La Palma with 32 deaths, or the flood of March 2002 in Santa Cruz de Tenerife with 9 victims and more than 200 million euros in losses. On the other hand, unstable phenomena of tropical origin are another concern for planning and managing risks on the islands. Events like

Delta in 2005 wreaked significant havoc on the normal operation of the islands and millionaire losses. Some events that aren't new in the Canary Islands as evidenced by the episodes of November 1826 and December 1975.

As it has been presented during this research, extreme meteorological phenomena have been repeating themselves, at least, from the 16th century to the present day. Some hazards present differentiating features between each of the archipelagos. This is the case of the heat waves responsible for large forest fires that are concentrated in the Madeira and Canary archipelagos. Especially important droughts in the eastern Canary Islands and Cape Verde. Wind storms existing in all the archipelagos, but more prominent in the Azores. It should be highlighted the passage of unstable phenomena of tropical origin that have mainly affected the Azores archipelago, and much more occasionally Madeira, Cape Verde and the Canary Islands. But among all hazards that have been studied, the highly concentrated spatiotemporal rains that have led to significant flooding episodes are, without a doubt, the most important hazard of climatic origin. In addition, torrential precipitation has generated numerous disasters in each archipelago, leading to a significant number of victims and general damage.

All the hazards that have been analyzed are part of the climatic features of the region and aren't and should not be directly linked to climate change, since the impacts of these episodes depend solely on the socio-territorial context represented by the exposure and vulnerability, with only these factors determining the effects or impacts of these hazards on each of the islands of the different archipelagos. In short, extremes have always been part of the natural variability of the climate. Specific recent events such as the intense episode of *calima* of February 2020 in the Canary Islands cannot be attributed directly and simply to climate change. This could have occurred in the region's own climate variability, without having a proven origin in anthropogenic climate change. That is why advances in this line of research are still necessary to determine the degree of relationship between human action and the increase in the occurrence of a particular extreme compared to weather conditions in the absence of human influence.

d-) Is tourism in Macaronesia an activity that we should analyze cross-sectionally with climate change and its related effects?

Until now, those aspects that are related, on the one hand, to the evidence of climate change in the behavior of climatic elements and extreme meteorological phenomena in the archipelagos of Macaronesia associated with climate change, and on the other, with the identification of problems or possible impacts derived from these changes, have been resolved. Now, the objective of answering this question focuses on the relationship between the impacts derived from extreme meteorological phenomena in Macaronesia and tourism, as the main sector that characterizes the territorial development of the region.

During the published works that make up this research, it has been seen how the effects of climate change are manifested, not only in the modification of the current climatic conditions of Macaronesia, but also changes in economic activities and even in their own life conditions. In this sense, tourism is one of the most vulnerable sectors because climate change alters current environmental conditions, which can modify the competitiveness of many destinations. This is the case of Macaronesia, where it is treasured as changes in thermal and rain conditions lead to a more than likely scenario of loss of thermal comfort along with a predictable increase in extreme events, thus altering part of the current tourist attractions. Some changes that are very compatible with the idea expressed by Jorge Olcina (2012, p. 29) "The three demands of the tourist in terms of climate (enjoyment, comfort and safety) that Besancenot pointed out in 1989 will be altered in the coming decades in destinations world tourism". However, in the competitiveness of tourism markets, the deterioration of their own environmental conditions is as important as that of competitors.

The analyzes presented throughout this research in the framework of a territory so densely populated and exploited from a tourist perspective as Macaronesia, have shown, first, the hazards of climatic origin to which the island territories are subjected and, secondly, the great economic importance of the tourism sector in all the archipelagos. The Canary Islands and Madeira are the most exploited regions and Cape Verde and Azores, the ones that present an even more incipient activity. In any case, the high number of visitors implies a high exposure that, together with the most extreme climatic conditions, determine relevant risks for both the resident population and visitors.

In this context, the concern for the knowledge of the climate must be increasing every day to adapt the tourist offer in the best possible way to the climatic features and its extreme values. When it is planned to incorporate the tourist activity in a place, it is essential that it be carried out through a comprehensive process of territorial planning, studying not only the favorable conditions for tourism development, but also the possible risks. One of the main challenges for territorial management in all the islands will be the unstable phenomena of tropical genesis, especially with the increased probability of occurrence as consequence of climate change. Furthermore, as has been expressed in many parts of this research, it is necessary to highlight the vulnerability of the coastal sectors, especially the small islands, since most of the dangers of climatic genesis increase their intensity with thermal ascent and, particularly on the coasts, with the rising of the sea level.

In this aspect, one of the main pillars for the development of future tourist activity should be the security, both for residents and tourists, to create more sustainable spaces and reduce risk as much as possible. One of the postulates of risk prevention was raised by Ulrich Beck (2002, p. 36) citing that "A probability of accident kept to a minimum is too high where a disaster can cause great losses". This maxim applied to a sector as vulnerable and exposed to extreme meteorological phenomena as tourism should be a primary concern for territory managers and tourism planners. Both when it comes to protecting life and property in the multiple tourist destinations on the islands, and because of the negative effect that a disaster can have on the security image of a certain destination.

The Canary Islands have suffered, throughout its history, numerous meteorological events of all kinds, and economic losses have been very large in recent decades. Most of them in urban and tourist spaces. In this sense, the problems derived from bad planning in the face of a risk are known, such as floods in some tourist sectors in the south of the islands of Gran Canaria and Tenerife, so the flood events are not only numerous, but they increase year after year (Machado, 2011; Máyer and Pérez Chacón, 2006a). This poor planning of the territory explains the effects of hazards such as floods in all the tourist areas of the archipelago. Even so, the great irregularity of the rains makes complicate the construction of an urban planning adapted to the environment. This makes necessary, on the one hand, the improvement of a network of meteorological

observatories of these intensely exploited spaces from a tourist perspective that can contribute to a deeper knowledge of their pluviometric features; on the other, the adaptation of an urban planning and hydraulic infrastructures to the extreme values expected in these spaces. These areas are located almost entirely in the coastal areas of the islands and they are also affected with some regularity by other hazards such as floods due to coastal storms (Máyer *et al.*, 2018).

All these reflections raised above lead to an uncertain scenario and, sometimes, nothing positive about the future of tourist activity on the islands. It is clearer now that the impacts of climate change will have important repercussions on tourist establishments, on the beaches and infrastructures located on the coast, on the attractions of various ecosystems. All these changes have been widely analyzed in the scientific literature (Gómez-Martín, 2005; Wijaya and Furqan, 2018; Scott *et al.*, 2019). For this reason, island destinations such as Macaronesia would have to follow a path in which environmental sustainability will be an unavoidable objective, and it is at this point that risk reduction should become one more axis within this objective. This sustainability happens, among other things, by implementing adaptation actions to the new climate scenarios that climate change will produce in the island territories. Even more so in spaces where the tourism sector is particularly relevant due to its strategic value as a wealth-generating activity. The tourism sector has demonstrated its that has demonstrated its enormous vulnerability to external impacts such as the crisis derived from COVID-19, where some studies have already pointed to a reduction in the tourist influx in regions with a high tourist tradition such as the Valencian Community of around 50 % in the best scenarios for the year 2020 (Vera-Rebollo and Ibars, 2020). This value estimated by the Office of Tourism, Industry and Commerce of the Canary Islands Government could reach 80%, which would imply a 30% reduction in the GDP of an archipelago such as the Canary Islands. For all these reasons, it is important to consolidate more sustainable and resilient destinations, since probably they will be more attractive to a large part of the environmentally aware population. Islands that don't "demonstrate" their commitment to sustainability are likely to lose competitiveness, at least, in broad sectors of the middle class of the main sending countries (Germany, United Kingdom, France, etc.).

e-) What has been the impact of extreme weather events on the Canary Islands?

Traditionally, in the scientific literature (Dessai and Hulme, 2004; MITECO, 2015) the physical phenomenon of climate change has been much more concerned than its consequences, which is known as a top-down approach. And the problem should not be focused on knowing the increase in average temperature, but rather the physical, ecological and economic impact that this warming can bring, that is, bottom-up approaches, which emphasize social and socioeconomic conditions. This basic argument is the one that justified this question and in this regard, some conclusions and reflections related to the economic aspect of extreme meteorological phenomena have been established in an archipelago such as the Canary Islands, an issue that has facilitated a better understanding of the possible impacts of climate change on the future.

The database of the Insurance Compensation Consortium (CCS), the main entity in charge of economic compensation for claims of extraordinary disasters in Spain, has been shown to be a very useful instrument. Firstly, due to its spatial concretion and, secondly, due to the detail in the breakdown of information on climatic events. These two characteristics position it as a resource of enormous value to undertake any risk assessment study at scales of detail, such as the one developed in much of this research.

Canary Islands constitute one of the Autonomous Communities with the greatest economic losses derived from climatic hazards. In addition, some of the events with the highest indemnities covered by the CCS, such as March 31, 2002 or the Tropical Storm Delta in November 2005 have taken place there. The last one is of the ten most significant events in terms of economic damage through all Spain, which shows the relevance of extreme meteorological phenomena in the archipelago, both in terms of their periodicity and their multiple implications on the economic activity of the islands.

Almost 300 million euros is the sum of the total compensation paid by the CCS in the Canary Islands between 1996 and 2016. A figure that concentrates almost entirely on 25 episodes, the most notable of which are those already mentioned, from March 31, 2002 in Santa Cruz de Tenerife and the tropical storm Delta in 2005, as well as the storm in February 2010. However, it has been calculated that this figure could well exceed 600 million euros if the losses offered by local

administrations are considered, including those after the passage of these episodes, as well as losses in the primary sector. This volume of damage makes three fundamental issues evident: first, the high fragility of infrastructures face of certain types of events, as those revealed by the tropical storm Delta and its enormous impact on the electrical network of islands such as Tenerife; second, the occupation of sectors with a high risk of flooding, such as the sea front of Santa Cruz de Tenerife where losses for the January 1999 storm were established at 14 million euros (Rodríguez-Báez *et al.*, 2017) or the coastal area of the municipality of Telde in Gran Canaria that was affected by the intense rains of October 2015 that caused damage of more than 6 million euros; and, third, the high vulnerability of many spaces to any extraordinary event, to such an extent that there are municipalities that with the passage of a single event suffered a damage comparable to almost all of their municipal budgets. It is the case of the municipality of Santa Cruz de Tenerife on March 31, 2002, an episode that has constituted the most serious weather event suffered by a Canarian municipality in terms of damage, 218 million euros, representing 81% of the current municipal budget (270 millions of euros).

Likewise, it can be seen how a large part of these losses are confined to the coastal sectors of the islands, a fact that is also evident in tourist areas where the risk assessment was applied with economic consequences on the insured goods in the period studied from more than 12 million euros. Although this figure computed for a period of 20 years may not seem excessively high, it should be borne in mind that CCS compensation is only an indicator, to which should be added other mechanisms that are used to recover economic activities, as well as the cessation of profit that many businesses and services linked to tourism experience until normality is restored. In any case, this last idea also validates the enormous importance of a database such as that of the CCS due to the difficulty of quantifying the damages and the complex access to this type of information to increase the precision of economic valuations.

Finally, the question asked about whether is if these values will increase as consequence of the increase in intensity and, therefore, the danger of threats such as tropical phenomena. Some studies predict for the next decades an increase in economic losses due to disasters linked to climate change (Bouwer, 2011). It is enough to observe how year after year an increasing trend in the damages caused by climate-related disasters on a global scale is documented (Stern *et al.*, 2007;

Coronese *et al.*, 2019). This pattern is fundamentally a direct consequence of the changes in the exposure and vulnerability of the different enclaves, a pattern that is also repeated in regions such as the Canary Islands and Macaronesia in general. For this reason, it is in the reduction of these components that adaptation actions should be focused.

f-) How to assess vulnerability to climate change?

Knowing a factor such as vulnerability in all its dimensions constitutes a challenge that is difficult to meet in a research of this nature. From the interest of this research, this concept has been treated as an element that has the capacity to reduce the risk of disasters but, in turn, is also capable of constructing it. It is at this point that vulnerability becomes an element of great value to understand the environment-society relationships. The last aspect makes easy to isolate or identify part of the factors that make up vulnerability, to assess them independently and thus obtain a final indicator. Therefore, the development of a methodological proposal for vulnerability assessment has been used to estimate, in a realistic and objective way, the vulnerability resulting from the interrelations in a tourist area facing a specific risk, floods and under the current context of climate change.

Vulnerability assessment should be understood as a tool to help the development of better policies that reduce the magnitude or probability of harm. At the same time, it can facilitate or promote other changes in society derived, for example, from participatory processes linked to the course of the evaluation. In the case of a risk such as floods, it has been verified how it is possible to model the vulnerability of an environment with an apparent certain territorial homogeneity derived from its deep tourist specialization. A model based on knowledge of the past hazard, as well as on the territorial factors that directly intervene in the greater or lesser susceptibility of the appearance of risk.

One of the procedures that has been developed in this doctoral dissertation (Díaz-Pacheco *et al.*, 2020), has been based on the methodology proposed by the United Nations (UNDRO, 1991), which has shown great applicability. First, it is a simple method that can be calculated with readily available data and information, allowing a vulnerability assessment to be carried out by observing the different indicators that are integrated into the calculation equation, such as

uses of soil, exposed areas and specific vulnerability for each element at risk. Secondly, it is a method that allows analysis at a detailed scale; the use of the cadastral parcel as an analysis unit makes the reduction of the scale of the systems that we are evaluating possible, so the results show more confidence. This is a factor to consider in relatively homogeneous spaces in its socioeconomic characteristics, such as a tourist district where the spatial difference in vulnerability is made up of small nuances such as the age of the building or the number of services in each parcel analyzed. Third, it is a useful method since it has allowed us to spatially differentiate the degree of vulnerability through an index with cartographic representation at the cadastral parcel scale. In this sense, it has been verified that the final value is mainly determined by the typology of the plot, the history of events and the number of registered goods and services. These factors end up showing that the highest levels of vulnerability are in specific enclaves of the study area, on many occasions coinciding with floodable spaces such as the case of El Bobo and El Beril beaches in the municipality of Adeje (Tenerife). On the contrary, the lowest values are in the first tourist settlements of Arona and Adeje, such as Los Cristianos and Las Américas, respectively. This result derives from the age of their buildings and from presenting a somewhat lower offer of services than of the rest of cadastral units worked. Finally, an important point to note is that the proposed method may also be of great interest for areas with characteristics analogous to one studied here. That is, especially for those spaces that present a high degree of territorial transformation, such as coastal areas with a high dependence on tourism and a high probability of suffering negative impacts from climate change. These three arguments are largely repeated, for example, in the coastal strip of the rest of the Macaronesian archipelagos, but also in many sectors of the Iberian Peninsula, especially in coastal areas or Mediterranean islands.

In addition, the proposed method bears some similarity to the approaches of some works that answer the same question that has been asked at this point: How to assess vulnerability to climate change? A well-known article prepared by Patt, A. (2005), reflected on how to avoid the temptation to work with complex models that integrate a multitude of variables, many of them difficult to access or very expensive to implement to understand the vulnerability of an environment. The work concludes and recommends that the assessment of vulnerability to climate change should focus on an analysis based on risk management and knowledge of the dangers faced by a given community.

In this context, and as a last conclusion, knowing vulnerability more exhaustively should be a fundamental mechanism to effectively respond to risks. Using the results derived from the evaluation model to suggest policies will make the territory less vulnerable or more resilient to the possible appearance of a risk such as floods. Therefore, a detailed understanding of the variables that integrate and control risk should help decision-makers prioritize the actions to be implemented to reduce these vulnerabilities as a preferred form of adaptation to climate change.

g-) At an institutional level in La Macaronesia and in particular in the Canary Islands, what actions or policies have been developed to act against climate change?

Since the investigation where the objective of this question was addressed (López-Díez *et al.*, 2016), after the conclusion of the Paris Agreement in 2015 and until today (2020), no significant and manifest changes have been observed from institutions regarding the actions and policies developed to face climate change. At least for the Canary Islands, where the work was focused, climate action seems to continue at the same point where it was when it was exhaustively analyzed. That means paralyzed and limited to the same and few institutional documents and initiatives without any real application value. These initiatives whose greatest achievement in these years have been the well-known climate emergency declarations prior to the COP25 in Madrid, are documents that, although pretentious and focused for the most part on the energy transition, are still mere declarations of intention.

Although the scientific basis that supports the design of policies and actions against climate change has been consolidated over time, this has not implied that institutional actions have developed at the same speed or with the same importance in what mitigation and adaptation refers. It is not until the last years, mainly from COP16 of 2010 with the “Cancun Adaptation Framework” when adaptation has gained greater attention and prominence on the part of policy makers. However, this greater relevance is basically limited to the international arena, where the prominent role of adaptation versus mitigation is increasingly reflected, as evidenced in the Paris Agreement in 2015. But this transposition to other scales such as the European one, National and regional evidence still shows

a clear commitment to GHG reduction, ignoring how the success of this policy depends exclusively on complicated global agreements and not so much on specific actions that contribute to GHG reduction. A fact that is also evident in the current draft of the "Climate Change and Energy Transition Law" in Spain, a text focused on mitigation and relegating adaptation to the background. This is a worrying fact, more still, if we consider the more than probable increases or the appearance of new risk in many areas of the country.

Few institutional initiatives in adaptation have been proposed in archipelagos such as the Azores and Madeira, and there are nonexistent in the case of Cape Verde. The Portuguese archipelagos have the "Estratégia Regional para as Alterações Climáticas da Açores" approved in 2011 and the "Estratégia de Adaptação às Alterações Climáticas da Região Autónoma da Madeira" of 2015. These are some diagnostic tools that, although quite concise, focus on establishing the climatic routes. In this sense, the few advances in adaptation have also been linked to regional cooperation projects for the entire Macaronesian environment, such as, among others, the case of ADAPTARES and MAC-CLIMA. The first is focused on improving the use of water in the archipelagos and the second on climate observation in the region and promoting training and awareness actions on risks.

In the Canary Islands, the main advances were promoted based on the "Canary Strategy for the Fight against Climate Change" in 2009, which promoted the Canary Agency for Sustainable Development and Climate Change, which was in charge of preparing mitigation plans and adaptation of the islands. However, these plans and the Agency itself were halted in 2011 within the framework of the measures adopted by the Government of the Canary Islands to reorder and rationalize the autonomous public sector. At the institutional level in the islands, it wouldn't be until 2017 when interest in climate action was reactivated with the creation of the Canary Islands Climate Change Observatory in 2017 and implemented in 2018. A technical-advisory body that lacks autonomous character and without any executive capacity, at least until the writing of these lines. An organization without legal protection to promote any type of action, beyond its advisory function. In this line, the only institutional action at the regional level has been the 2019 Climate Emergency Declaration, a document that aims to compromise in the coming years the development of policies that address issues arising from climate change. Among these new initiatives we find

the need for a Canarian Law on Climate Change, which is currently in the drafting phase, but whose first public consultation on the draft Law evidenced a marked bias towards mitigation, as did the national law. On an island scale, the situation isn't rosy either. The few actions have been focused on energy efficiency, as reflected in the recent "Operational audit report on the adaptation of the Island Cabildos to climate change" prepared in 2019 by the Audience of Accounts of the Canary Islands. Among its multiple conclusions, it also certifies as "Island councils don't have plans for adaptation to climate change and only one has prepared the general assessment of risks and vulnerabilities (ACC, 2019, p.24)," a conclusive statement that reflects the status of policies and actions regarding adaptation to climate change in the Canary Islands.

Furthermore, this analysis has revealed the polarization between the scientist's points of view and the political and institutional work on climate. And even though, in recent years, adaptation has gained greater attention, a clear deficit in this type of policy continues to be evident in regions such as the Canary Islands, with a clear commitment to mitigation, although without real application. In this sense, it is important to remember that it presents a global perspective and, therefore, its success depends on policies and agreements in other territories. This means that a region such as the Canary Islands whose global CO₂ emissions contributions only represent 0.037% shouldn't concentrate all their efforts on mitigation, especially considering the impacts treated in this research and its impact on key sectors for the economy such as tourism. However, this doesn't mean that mitigation policies shouldn't continue to be promoted, on the contrary, they should be approached as policies that contribute directly to achieving objectives associated with adaptation and the development of a more sustainable and resilient territory.

h-) We can understand risk and vulnerability assessment as adaptation actions to climate change?

It is evident that in a context of climate change it is increasingly necessary to go beyond traditional visions on mitigation and to go towards improving the adaptation capacities and resilience of our territories. However, answering this last question with a single solution would be quite daring and above all inconsistent with the complexity foundation that we have attributed to climate change. Furthermore, following Füssel's arguments (2007), it is recognized that

there is no single approach to assess, plan and implement adaptation measures. These actions must always respond to each territorial reality and must be developed flexibly with the different existing methodological approaches, since this is the only way to produce useful results and knowledge for the context in which adaptation should be implemented.

As it has been already explained, there are multiple perspectives and disciplines from which adaptation can be addressed. This research has been structured around disaster risk reduction (DRR) and always from a geographical perspective. In this sense, DRR has varied in recent years from a vision focused on disaster response or management to current and more complex approaches that seek to reduce the risk of disasters and thus minimize the negative consequences for human life and economic activities (Innocenti and Albrito, 2011). This new DRR paradigm has been consolidated through documents such as the Hyogo Framework for Action and the subsequent Sendai Framework for UNDRR DRR. Some exposure instruments on comprehensive risk management have been assumed in the Fifth Report of the IPCC in its report on "Impacts, adaptation and vulnerability" as well as in some scientific works referenced during this research (Kelman, 2015, Kelman *et al.*, 2015). In this context, DRR is configured as a fundamental part of adaptation actions because both pursue the same objective: reducing the impacts of hazards in the territory. To achieve this objective, risk assessment is the first step to be implemented (Narváez *et al.*, 2009; Riddell *et al.*, 2019) through the integration of knowledge and analysis of the different elements that make up risk, being vulnerability as, it has been exposed, the main challenge to be addressed in this evaluation.

In the development of this doctoral dissertation, the necessary contributions have been generated to undertake the last objective to be dealt with, evaluating the risk on a tourist coastal area such as the southwest of Tenerife. This evaluation has not only integrated a large part of the information resulting from previous work, but, as a novelty to improve the information related to the threat, the information provided by the bbd of the Emergency Coordination Center (112) of the Canary Islands Government in order to broadly characterize a phenomenon such as floods. The bbd has been a very useful tool for its level of information and detail to undertake any characterization of risks at territorial scales of precision or detail. All this information has allowed us to analyze the risk of flooding in two areas such as Arona and Adeje, identifying those areas of greatest risk those located in

Torviscas, Puerto Colón in the case of Adeje and Las Américas and Los Cristianos in Arona, areas that have sometimes manifested a high dependence on the variables identified for the calculation of vulnerability.

Knowing the local impacts and their repercussion in sectors such as tourism is essential to identify and implement specific adaptation measures. And it is at this point, once the evaluation is completed, when it becomes an instrument of adaptation. In this way, an integral vision is acquired, both components that articulate and generate the risk, and of the spatial zoning of this. This information will allow policy makers to identify those priority areas, as well as formulate the best strategies that help, not only to reduce risks, but also to optimize public investments.

In addition to this evaluation, in response to the question asked, a participatory methodology has been addressed and put into practice, as a complement to the technical and scientific work of the risk assessment. Such participatory methodology is in line with many of the international and even national regulatory frameworks that recognize the important role of including civil society in DRR processes (Van Aalst *et al.*, 2008; Asare-Kyei *et al.*, 2015²⁵; Law 17/2015; Díaz-Pacheco *et al.*, 2017). In this way, not only the training and awareness generated during participatory processes can be considered as a measure of educational adaptation, but it also contributes to generating less vulnerable societies with greater capacity for adaptation and recovery from impacts, which implies improving the resilience of local communities.

In short, adaptation to climate change poses multiple challenges for both researchers and policy makers. In addition, it is required to navigate through a large amount of information and resources, as has been seen throughout this doctoral dissertation, to tackle processes at a detailed scale. Likewise, it requires involving a wide range of actors that allow adaptation responses to be socially and politically sustainable, and here participation is shaped as an almost obligatory action. However, despite these complexities, one of the benefits of adaptation as advocated by Davoudi and Libby (2012) is that its success doesn't depend on creating complex new planning tools, rather, what is required is to incorporate adaptation in existing planning policies and instruments.

²⁵ Law 17/2015, of July 9, of the National Civil Protection System. Article 7: Right to participation.

III.3.2. General conclusion

The Nobel Prize for Economics William Nordhaus (2013, p. 32) wrote that “Both the source of the problem [of climate change] and the solution to it lie in the field of social sciences”. And in this sense, this research work has tried to deal from the social sciences and specifically from the perspective of Geography, an approach to DRR as an adaptation strategy against the impacts derived from climate change in Macaronesia. Through these pages, it has been verified how the investigations of climate change in Macaronesia already show certain convictions about the changes that are taking place in the current climatic conditions. It is more than likely that these changes will lead to an increase in the dangerousness of the events extremes. However, However, this doctoral dissertation did not want to ask only if certain hazards occur and their frequency, but what can be done to manage them. This simple but complex question has been addressed through the performance of published or in-progress papers presented in Section II, which concludes a general idea: two priority actions are required to increase the resilience of a specific territory, on the one hand, reduce their vulnerability and, on the other, increase their adaptability. These two facts are precisely integrated through new DRR approaches that analyze risk as a multi-factor system, where risk assessment is the tool that allows the individual extraction and understanding of each of the parameters that cause risk. However, this research has tried to make a small contribution, within the wide spectrum of works related to climate change, to the final objective that the methodology used in this doctoral dissertation can serve as an example of application in other insular spaces or with similar characteristics, so that it can contribute to the design of policies to tackle climate change.

III.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adaptares. (2020). Adaptación al cambio climático en la macaronesia a través del uso eficiente del agua y su reutilización. Proyecto Interreg-Mac 2014-2020.

Adger, W. N., Brown, I., y Surminski, S. (2018). Advances in risk assessment for climate change adaptation policy. *Philosophical Transactions*, 376(2121).

AEMET (Agencia Estatal de Meteorología). (2015). Proyecciones Climáticas para el siglo XXI en España

Albert, S., León, J., Grinham, A., Church, J., Gibbes, B., and Woodfoffe, C. (2016). Interactions between sea-level rise and wave exposure on reef island dynamics in the Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, 11 (5).

Anchieta y Alarcón, J. (1940). Del Diario del regidor Anchieta y Alarcón.

Arechavaleta, M., Rodríguez, S., Zurita, N., y García, A. (2010). Lista de especies silvestres de Canarias. Hongos, plantas y animales terrestres. 2009. Gobierno de Canarias, Tenerife.

Arozena M.E, Dorta, P., Panareda i Clopés, J. M., y Beltrán Yanes, E. (2008). El efecto de los temporales de viento en la laurisilva de Anaga (Tenerife. I. Canarias). La tormenta Delta de noviembre de 2005. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12, 267.

Arrhenius, S. (1896). XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237-276.

Asare-Kyei, D. K., Kloos, J., y Renaud, F. G. (2015). Multi-scale participatory indicator development approaches for climate change risk assessment in West Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 11, 13-34.

Audiencia de Cuentas de Canarias, ACC. (2019). Informe de fiscalización operativa de la adaptación de los cabildos insulares al cambio climático, Ejercicios 2017 - 2018. Gobierno de Canarias.

Azevedo, de E.B. (2001). Condicionantes Dinâmicas do Clima do Arquipélago dos Açores, Elementos Para o seu Estudo. Açoreana. *Boletim da Sociedade de Estudos Açoreanos "Afonso Chaves"*, 9 (3), 309-317.

Azorín-Molina, C., Menéndez, M., McVicar, T. R., Acevedo, A., Vicente-Serrano, S. M., Cuevas, E., y Chen, D. (2018). Wind speed variability over the Canary Islands, 1948-

2014: focusing on trend differences at the land-ocean interface and below-above the trade-wind inversion layer. *Climate Dynamics*, 50(11-12), 4061-4081.

Baatsen, M., Haarsma, R. J., Van Delden, A. J., & De Vries, H. (2015). Severe autumn storms in future Western Europe with a warmer Atlantic Ocean. *Climate dynamics*, 45(3-4), 949-964.

Babinger, F. (2012). El turismo ante el reto de peligros naturales recurrentes: una visión desde Cancún. *Investigaciones geográficas*, (78), 75-88.

Bakun, A. 1990. Global Climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247, 198-201.

Balica, S. F., Wright, N. G. & Van Der Meulen, F. (2012): A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural hazards*, 64(1), 73-105.

Ballesteros, C., Jiménez, J.A. & Viavattene, C. (2018). A multi-component flood risk assessment in the Maresme coast (NW Mediterranean). *Natural Hazards* 90, 265-292.

Banholzer, S., Kossin, J. y Donner, S. (2014). The impact of Climate Change on Natural Disasters». En: Singh, A., y Zommers, Z. (Eds.) *Reducing Disaster: Early Warning Systems for Climate Change*, Springer.

Baptiste, A. K., y Rhiney, K. (2016). Climate justice and the Caribbean: An introduction. *Geoforum*, 73, 17-21.

Barbosa, P., Guimarães-Pereira, Â., Hernández-González, Y., Cuevas, E., y Rodríguez, S. (2017). Perspectives on contentions about climate change adaptation in the Canary Islands. A case study for Tenerife-Study.

Barrows, H. (1923). *Geography as human geography!* Annals of the Association of American Geographer. Chicago.

Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo*. Barcelona: Paidós.

Beck, U. (2002). *La sociedad del riesgo global*. Madrid: Siglo Veintiuno.

Becken, S., y Hughey, K. F. (2013). Linking tourism into emergency management structures to enhance disaster risk reduction. *Tourism Management*, 36, 77-85.

Becken, S., Mahon, R., Rennie, H. G., y Shakeela, A. (2014). The tourism disaster vulnerability framework: An application to tourism in small island destinations. *Natural Hazards*, 71(1), 955-972.

Becken, S., y Khazai, B. (2017). Resilience, tourism and disasters. *Tourism and resilience*, 96-104.

Bethencourt, J. y Dorta, P. (2010). The storm of november 1826 in the canary islands: possibly a tropical cyclone?. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 92, 329-337.

Betzold, C. (2015). Adapting to climate change in small island developing states. *Climatic Change*, 133(3), 481-489.

Bijlsma, L., Ehler, C. N., Klein, R. J. T., Kulshrestha, S. M., McLean, R. F., Mimura, N., y Turner, R. K. (1996). Coastal zones and small islands. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 289-324.

Birkmann, J. (2007): Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental hazards*, 7(1), 20-31.

Birkmann, J., y von Teichman, K. (2010). Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges—scales, knowledge, and norms. *Sustainability Science*, 5(2), 171-184.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., y Wisner, B. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London, Routledge.

Bloomberg, M. R., Sachs, J. D., y Small, G. M. (2010). Climate change adaptation in New York City: Building a risk management response. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1196(1), 1-3.

Bogardi, J. J. (2004). Hazards, risks and vulnerabilities in a changing environment: the unexpected onslaught on human security?. *Global environmental change*, 4(14), 361-365.

Borges, P. A., Abreu, C., Aguiar, A. F., Carvalho, P., Jardim, R., Melo, I., y Vieira, P. (2008). A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos. Direcção Regional do Ambiente da Madeira and Universidade dos Açores, Funchal and Angra do Heroísmo, 440.

Bouwer, L. M. (2011). Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(1), 39-46.

Broecker, W. S. (1975). Climatic change: are we on the brink of a pronounced global warming?. *Science*, 189(4201), 460-463.

Brown, A. (1905). Madeira, Canary Islands and Azores. London, Sampson Low, Marston & Co.

Brown, C., Ghile, Y., Laverty, M., y Li, K. (2012). Decision scaling: Linking bottom-up vulnerability analysis with climate projections in the water sector. *Water Resources Research*, 48(9).

Brown, K. (2015). Resilience, development and global change. Routledge.

Brundtland, G. H. (1987). Informe Brundtland. Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU.

Buch, L. (1823). Remarques sur le climat des îles Canaries. *Ann. Chim. Phys*, (22), 281-304.

Budyko, M (1972). The future Climate. Eos, Transactions American Geophysical Union, 53(10), 868-874.

Burkett VR, Suarez AG, Bindi M *et al* (2014) Point of departure. In: Field CB, Barros, VR, Dokken DJ *et al* (eds) 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, Cambridge University Press, Cambridge, 169-194.

Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., y Schipper, E. L. (2002). From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate policy*, 2(2-3), 145-159.

Busey, R., Hinzman, L., y White, D. (2008). Freshwater vulnerabilities and resilience on the Seward Peninsula: Integrating multiple dimensions of landscape change. *Global Environmental Change*, 18(2), 256-270.

Cadarso, M. Á., Gómez, N., López, L. A., y Tobarra, M. Á. (2016). Calculating tourism's carbon footprint: measuring the impact of investments. *Journal of cleaner production*, 111, 529-537.

Calado, H., Ng, K., Borges, P., Alves, F., y Sousa, L. (2011). Climate change and coastal tourism in the Azores Archipelago. Disappearing destinations: Climate change and future challenges for coastal tourism, 111-124.

Capel, H. (2003). La geografía y los dos coloquios sobre la incidencia del hombre en la faz de la tierra. *Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*.

Cardona, O. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universitat Politècnica de Catalunya.

Cardona, O. D. (2002). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo.

Cardona, O. (2006). "Midiendo lo Inmedible" Indicadores de Vulnerabilidad y Riesgo. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Carreira-Galbán, T., Hernández-Calvento, L. F., Arto-Cuesta, N., y Álvarez-Vázquez, R. (2018). Evaluación de la subida del nivel medio del mar por efecto del cambio climático en la playa de Las Canteras. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Carter, T., Parry, M., Harasawa, H., y Nishioka, S. (1994). IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations. In Part of the IPCC Special Report to the First Session of the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change. Department of Geography, University College London, UK and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan.

Ceballos, L. (1953). Macaronesia. Algunas consideraciones sobre la flora y vegetación forestal. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 20, 79.

Cedergren, A., Hedtjörn Swaling, V., Hassel, H., Denward, C., Mossberg Sonnek, K., Albinsson, P. A., y Sparf, A. (2019). Understanding practical challenges to risk and vulnerability assessments: the case of Swedish municipalities. *Journal of Risk Research*, 22(6), 782-795.

Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado presente y futuro. Instituto de Biología UNAM, Agrupación Sierra Madre S. C.

Charlesworth, M., y Okereke, C. (2010). Policy responses to rapid climate change: an epistemological critique of dominant approaches. *Global Environmental Change*, 20(1), 121-129.

Charney, J.G. (1979). Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment. National Academy of Sciences, Washington D.C.

Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavallo, C., Raes, F., Perry, M., y Donatelli, M. (2014). Climate impacts in Europe-The JRC PESETA II project.

CMNUCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York.

Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., y Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8(2).

Coronese, M., Lamperti, F., Keller, K., Chiaromonte, F., y Roventini, A. (2019). Evidence for sharp increase in the economic damages of extreme natural disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(43), 21450-21455.

Correia, E. (1998). Sobre a variabilidade da precipitação e o «Tempo das Águas» em Cabo Verde. *Garcia de Orta*, 16 (1-2), 49-61.

Cronin, T. M. (1982). Rapid sea level and climate change: evidence from continental and island margins. *Quaternary Science Reviews*, 1(3), 177-214.

Cropper, T. (2013). The weather and climate of Macaronesia: past, present and future. *Weather*, 68(11), 300-307.

Cropper, T. y Hanna, E. (2014). An analysis of climate of Macaronesia, 1865-2012. *International Journal of Climatology*, 34 (3), 604-622.

Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41,17-18.

Crutzen, P. J. (2006). The “anthropocene”. In *Earth system science in the Anthropocene*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Cuevas, E., Díaz, A., y Martín, F. (1991). Atmospheric Carbon Dioxide Concentration at Izana BAPMoN Observatory, Canary Islands, 1984-1990. *Proceedings 19th ITM on Air Pollution Modeling and its Applications*, NATO/CCMS, Ierapetra, Greece, 29, 45-46.

Cuevas, E., González, Y., Rodríguez González, S., Guerra, J. C., Gómez Pélaez, A. J., Alonso Pérez, S., y Milford, C. (2012). Assessment of atmospheric processes driving ozone variations in the subtropical North Atlantic free troposphere. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 12(10).

D'Ercole, R. y Metzger, P. (2004). *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Chile, AH/Editorial.

Dansereau, P. (1961). *Essais de représentation cartographie des éléments structuraux de la végétation*.

Davoudi, S., y Libby, P. (2012). Resilience; a bridging concept or a dead end? *Planning theory & Practice*, 13, 2, 299-307.

Dessai, S., y Hulme, M. (2004). Does climate adaptation policy need probabilities?. *Climate policy*, 4(2), 107-128.

Díaz-Pacheco, J., López-Díez, A., Dorta, P. (2017). La evaluación local del riesgo participativa (ELRP) como instrumento de apoyo a los procesos de adaptación al cambio climático. En Allende, F; Cañada, R; Fernández-Mayoralas, G; Gómez, G; López, N; Palacios, A; Rojo, F. y Vidal M.J. (eds.) *Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global*. Actas. XXV Congreso de la Asociación Española de Geografía, Madrid, Dpto. Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid y Ediciones UAM. pp 629-638.

Díaz-Pacheco, J., López-Díez, A., Máyer, P., Dorta, P., y Yanes, A. (2019a). Evaluación de la vulnerabilidad local de inundación en enclaves insulares áridos de especialización turística. In *Crisis y espacios de oportunidad: retos para la Geografía: Libro de Actas (358-373)*. Asociación Española de Geografía.

Díaz-Pacheco, J., Yanes, A., López-Díez, A., Máyer, P., y Dorta, P. (2019b). Relación entre episodios de lluvia intensa y daños producidos por inundaciones en áreas turísticas costeras de clima árido: el Sur de Tenerife (1980-2018).

Díaz, J. P., Expósito, F. J., Pérez, J. C., González, A., Wang, Y., Haimberger, L., y Wang, J. (2019). Long-Term Trends in Marine Boundary Layer Properties over the Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 32(10), 2991-3004.

Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., y Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401-406.

Dogru, T., Marchio, E. A., Bulut, U., y Suess, C. (2019). Climate change: Vulnerability and resilience of tourism and the entire economy. *Tourism Management*, 72, 292-305.

Dorta, P. (1990). Estado de la atmósfera en las olas de calor estivales en Canarias. *Ería*, 23, 205-211.

Dorta, P. (1991). Características climatológicas de las olas de calor estivales en Canarias. *Alisios*, 1, 7-20.

Dorta, P. (1997). Las invasiones de aire sahariano en el archipiélago canario. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía de la Universidad de La Laguna. Inédita.

Dorta, P. (2000). Algunas notas sobre la evolución de los estudios del clima de canarias: estado actual de la cuestión. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. XIII Coloquio de Historia Canario-Americana. 1602-1620.

Dorta, P. (2001). Aproximación a la influencia de las advecciones de aire sahariano en la propagación de los incendios forestales en la provincia de Santa Cruz de Tenerife. XVII Congreso de Geógrafos Españoles, Oviedo, 158-162.

Dorta, P., Gelado, M. D., Mendoza, S., Torres, M. E., Hernández, J. J., Collado, C., Cardona, P., y Criado, C. (2003). Selección de tipos de tiempo en Canarias. Un ejemplo: las invasiones de aire sahariano. Libro de ponencias del 1er Encuentro sobre Meteorología y Atmósfera de Canarias. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología, 77-79.

Dorta, P., Gelado, M. D., Hernández, J. J., Cardona, P., Collado, C., Mendoza, S., y Torres, M. E. (2005). Frecuencia, estacionalidad y tendencias de las advecciones de aire sahariano en Canarias (1976-2003). *Investigaciones Geográficas*, (38), 23-45.

Dorta, P. (2007). Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenazas y vulnerabilidad. *Geographicalia*, (51), 133-160.

Dorta, P., López-Díez, A., Díaz Pacheco, J. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. *Cuadernos Geográficos*, 57(2), 27-52.

Dorta, P., López-Díez, A., Díaz-Pacheco, J., Máyer, P. y Romero, C. (2020). Turismo y amenazas de origen natural en la Macaronesia. Análisis comparado. *Cuadernos de Turismo*, 45.

ECCC. (2009). Estrategia Canaria de Lucha contra el Cambio Climático. Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático. Gobierno de Canarias. 113pp.

El Pacto Verde Europeo (2019). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. El Pacto Verde Europeo. Bruselas.

EM-DAT. (2018). Economic losses, poverty & disasters 1998-2017. Center for research on the epidemiology of disasters CRED and United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Belgium.

Engler, A. (1879). Versuch einer Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt: insbesondere der Florengebiete seit der Tertiärperiode (Vol. 1). W. Engelmann.

Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático. (2013). EU strategy on adaptation to climate change. Bruselas.

European Commission. (2013). Guidelines on developing adaptation strategies. Brussels.

Exceltur. (2016): Balance empresarial del año 2016 y perspectivas para 2017. Madrid.

Expósito, F. J., González, A., Pérez, J. C., Díaz, J. P., y Taima, D. (2015). High-resolution future projections of temperature and precipitation in the Canary Islands. *Journal of Climate*, 28(19), 7846-7856.

Feliu, E., García, G., Gutiérrez, L., Abajo, B., Mendizábal, M., Tapia, C., Alonso, A. (2015). Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático (PNACC). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 100 pp.

Fernandes, D.M. (2010). Turismo e Riscos na Ilha da Madeira. Facultad de letras da Universidad de Coimbra. Tesis Doctoral.

Fernández-Palacios, J. M., De Nascimento, L., Otto, R., Delgado, J. D., García-del-Rey, E., Arévalo, J. R., y Whittaker, R. J. (2011). A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests. *Journal of Biogeography*, 38(2), 226-246.

Fernández-Palacios, J. M., Arévalo, J. R., Balguerías, E., Barone, R., de Nascimento, L., Delgado, J. D., y Menezes de Sequeira, M. (2017). La Laurisilva. Canarias, Madeira y Azores. Macaronesia Editorial. Santa Cruz de Tenerife.

Ferreira, D.B (1980). Contribution a l'étude des vents e de l'humidite dans les iles central de l'archipel des Acores. *Linha de Accao de Geografia Fisica*, 9, 437.

Ferreira, D.B. (1981a). Les mecanismos de pluies et les types de temps de saison fraiche aux Acorez. *Finisterra*, 16(31), 15-61.

Ferreira D.B. (1981b). Les types de temps de saison chaude aux Açores. *Finisterra*, 16(32), 231-260.

Ferreira, D.B (1989). Le clima de l'Atlantique Orienta des Acores aux Iles du Cap Vert. Contribution a l'étude du system océan-atmosphère. These de Doctorar. Universite de Paris-Sorbone, 1657 pp.

Figueira, C., Prada, S., Sequeira, M., Gaspar, M., & Silva, M. O. (2006). Estudo da precipitação oculta em dois tipos de vegetação da ilha da Madeira. In Acts of 8º Congresso da Água, 179.

Font Tullot, I. (1950). Las invasiones de aire caliente africano en el Archipiélago Canario. *Revista de Geofísica*, IX, 36, 334-349.

Font Tullot, I. (1951). El espesor de la capa superficial de aire marítimo en la región de las Islas Canarias. *Revista de Geofísica*, X, 40, 281-291.

Font Tullot, I (1955a). El clima del Sáhara. Madrid, Instituto de Estudios Africanos.

Font Tullot, I. (1955b). Factores que gobiernan el clima de las Islas Canarias. *Estudios Geográficos*, 58, 5-21.

Font Tullot, I. (1956). El tiempo atmosférico en las Islas Canarias, Madrid, S.N.M. Serie A (26).

Font Tullot, I. (1983). Climatología de España y Portugal. Madrid. INM.

Fourier, J. (1820). Extrait d'une mémoire sur le refroidissement séculaire du globe terrestre. *Bulletin des Sciences par la Société Philomathique de Paris*, 58-70.

Fragoso, M., Trigo, R.M., Pinto, J.G., Lopes, D., Ulbrich, S., y Magro, C. (2012). The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 715-730.

França, Z., Lago, M., Nunes, J. C., Galé, C., Forjaz, V. H., Gil, A., y Arranz, E. (2005). Mineral composition and geothermometry in alkali basalts of the Corvo Island (Azores, Portugal). In Vº Congreso Ibérico de Geoquímica y IXº Congreso de Geoquímica de España. Soria, 20-23.

Frantz, C. M., y Mayer, F. S. (2009). The emergency of climate change: Why are we failing to take action? *Analyses of social issues and public policy*, 9(1), 205-222.

Friedlingstein, P., Andrew, R., Rogelj, J. Peters, G., Canadell, J., Knutti, R., Luderer, G., Raupach, M., Schaeffer, D., van Vuuren and Le Queré, C. (2014). Persistent growth of CO2 emissions and implications for reaching climate targets. *Nature Geoscience*, 7, 709-715.

Füssel, H. M., y Klein, R. J. (2004). Conceptual frameworks of adaptation to climate change and their applicability to human health. *Pik*.

Füssel, H. M., y Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329.

Füssel, H. M. (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability science*, 2(2), 265-275.

García-Cruz, J. I. (2014). El impacto territorial del tercer boom turístico de Canarias. Universidad de La Laguna, Servicio de Publicaciones.

García-Herrera, R., Gallego, D., Hernández, E., Gimeno, L., Ribera, P y Calvo, N. (2003). Precipitation trends in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, 23 (2), 235-241.

García-Herera, R., García, O., Cuevas, E., Cachorro, V., Barreto, A., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Bustos, J., Ro- mero-Campos, P. y de Frutos A. (2016). Aerosol optical

depth retrievals at the Izaña Atmospheric Observatory from 1941 to 2013 by using artificial neural networks. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 53-62.

Gero, A., Méheux, K., Dominey-Howes, D., Dalezios, N. R., y Pavol, N. (2011). Integrating community based disaster risk reduction and climate change adaptation: examples from the Pacific. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 11(1).

Giardino, A., Nederhoff, K., y Vousdoukas, M. (2018). Coastal hazard risk assessment for small islands: assessing the impact of climate change and disaster reduction measures on Ebeye (Marshall Islands). *Regional Environmental Change*, 18(8), 2237-2248.

Gilroy, K., y Jeuken, A. (2018). Collaborative Risk Informed Decision Analysis: A water security case study in the Philippines. *Climate Services*, 11, 62-71.

Glantz, M.H. (2015). Best practices and lessons learned for water-related disaster risk reduction (DRR). Presentation at the World Conference on Disaster Risk Reduction Working Session: Integrated Water Resource Management. Sendai, Japan, 15 Mar 2015.

Glas, G. (1982). Descripción de las islas Canarias. 1764. La Laguna. Instituto de Estudios Canarios, Goya Ediciones.

Gomes, A., Avelar, D., Duarte Santos, F., Costa, H., y Garrett, P. (2015). Estratégias de adaptação às alterações climáticas da Região Autónoma da Madeira. Governo da Madeira.

Gómez-Martín, B. (1999). La relación clima-turismo: consideraciones básicas en los fundamentos teóricos y prácticos. *Investigaciones Geográficas*, 21, 21-34.

Gómez-Martín, B. (2005). Weather, climate and tourism a geographical perspective. *Annals of tourism research*, 32(3), 571-591.

Gómez-Martín, B., Armesto-López, X., y Martínez-Ibarra, E. (2014). The Spanish tourist sector facing extreme climate events: a case study of domestic tourism in the heat wave of 2003. *International journal of biometeorology*, 58(5), 781-797.

Gómez-Martín, B., Armesto-López, X., y Iglesias, M. (2017a). Climate change perception and local adaptation responses: Rural tourism as a case study. *Cuadernos de Turismo*, 39(39), 287-310.

Gómez-Martín, B (2017b). Retos del turismo español ante el cambio climático. *Investigaciones geográficas*, (67), 31-47.

González-Lemus, N. (1997). Comunidad británica y sociedad en Canarias. Edén Ediciones, Tenerife.

González-Lemus, N., González, A. y Hernández, J.A. (2012). El viaje y el turismo en Canarias. Anroart Ediciones, Madrid.

Gössling, S. (2002). Global Environmental Consequences of Tourism. *Global Environmental Change*, 12, 283-302.

Gössling, S. y Hall, C.M. (2005): Tourism and Global Environmental Change. Ecological, social, economic and political interrelationships. London, Routledge.

Gössling, S., Peeters, P., Hall, C.M., Ceron, J-P., Dubois, G., Lehmann, L. y Scott, S. (2012). Tourism and water use: Supply, Demand and Security. An international review. *Tourism Management*, 33, 1-15.

Grize, L., Huss, A., Thommen, O., Schindler, C., y Braun-Fahrländer, C. (2005). Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 135(13-14), 200-205.

Haarsma, R., Hazeleger, W., Severijns, C., de Vries, H., Sterl, A., Bintanja, R., van Oldenborgh, G. J., y van den Brink, H. W. (2013). More hurricanes to hit western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letter*, 40, 1783- 1788.

Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., y ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2), 485-498.

Hall, C. M., Gossling, S., y Scott, D. (2015). The Routledge handbook of tourism and sustainability. London, Routledge.

Halpern, D., Hayes, S. P., Leetmaa, A., Hansen, D. V., y Philander, S. G. H. (1983). Oceanographic observations of the 1982 warming of the tropical eastern Pacific. *Science*, 221(4616), 1173-1175.

Hardoy, J., Pandiella, G., y Barrero, L. S. V. (2011). Local disaster risk reduction in Latin American urban areas. *Environment and Urbanization*, 23(2), 401-413.

Hartfield, G., Blunden, J., y Arndt, D. S. (2018). State of the Climate in 2017. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(8).

Harvey, L. D. (2018). Climate and global environmental change. Routledge.

Haße, C., y Kind, C. (2019). Updating an existing online adaptation support tool: insights from an evaluation. *Climatic Change*, 153(4), 559-567.

- Haunschild, R., Bornmann, L., y Marx, W. (2016). Climate change research in view of bibliometrics. *PLoS One*, 11(7).
- Haustein, K., F.E. Otto, V., Venema, P., Jacobs, K., Cowtan, Z., Hausfather, R.G. Way, B., White, A., Subramanian, and A.P. Schurer. (2019). A Limited Role for Unforced Internal Variability in Twentieth-Century Warming. *J. Climate*, 32, 4893-4917.
- Heazle, M., Tangney, P., Burton, P., Howes, M., Grant-Smith, D., Reis, K., y Bosomworth, K. (2013). Mainstreaming climate change adaptation: An incremental approach to disaster risk management in Australia. *Environmental Science & Policy*, 33, 162-170.
- Hernández-Martín, R., Marzol Jaén, M. V., Bolaños González, J. I., Santana Talavera, A., Simancas Cruz, M. R., Rodríguez Rodríguez, Y., y García Cruz, J. I. (2012). El clima en Canarias como recurso turístico frente a sus principales mercados emisores y competidores. Repositorio Institucional de la Universidad de La Laguna.
- Hernández-González, Y., Guimarães-Pereira, Â., Panella, F. y Barbosa, P. (2015). Focus groups desarrollados en Tenerife para la elaboración de escenarios de adaptación al cambio climático: transcripciones completas, EUR 28473.
- Hernández-González, Y., Guimarães-Pereira, Â., Rodríguez, S., Cuevas, E., y Barbosa, P. (2016). Perspectives on contentions about Climate change adaptation in the Canary Islands: A case study for Tenerife. EUR 28340.
- Hernández, M. (1990). La muerte en Canarias en el siglo XVIII. La Laguna, Centro de la Cultura Popular Canaria-Ayuntamiento de La Laguna.
- Herring, S., Hoerling, M., Kossin, J., Peterson, T. y Scott, P. (2015). Explaining extreme events of 2014 from a climate perspective. *Bulletin of American Meteorological Society*, 96 (12).
- Herring, S., Hoell, A., Hoerling, M., Kossin, J., Schreck, C. y Scott, P. (2016). Explaining extreme events of 2015 from a climate perspective. *Bulletin of American Meteorological Society*, 97 (12).
- Huetz de Lempis, A. (1969). Le climat de Iles Canaries. Paris, SEDES.
- Hulm, P. (1989). A climate of crisis: global warming and the island South Pacific. A climate of crisis: global warming and the island South Pacific.
- Humboldt, A. (1816). Voyage aux regions equinoxiales du Nouveau continent fait en 1799 et 1804. Paris, Librairie Grecque-Latine-Allemende.

Innocenti, D., y Albrito, P. (2011). Reducing the risks posed by natural hazards and climate change: the need for a participatory dialogue between the scientific community and policy makers. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 730-733.

Instituto Canario de Estadística (ISTAC). (2019): Encuestas de Hostelería y Turismo. Gobierno de Canarias.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2019): Encuestas del sector servicios, Madrid.

Instituto Nacional de Estatística (INEP). (2019): Estatísticas do Turismo 2018, Lisboa.

Instituto Nacional de Estatística Cabo Verde (INECV). (2017): Estatísticas do Turismo, Santiago.

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). (2017)

IPCC. (1990). The IPCC Scientific Assessment.

IPCC. (2001). The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, 881.

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

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, (2014a): 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, 1132 pp.

IPCC, (2014b): Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 pp.

IPCC. (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

IPCC. (2019a). Technical Summary [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

IPCC. (2019b). Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

Jacob, D., Kotova, L., Teichmann, C., Sobolowski, S. P., Vautard, R., Donnelly, C., y Sakalli, A. (2018). Climate impacts in Europe under+ 1.5 C global warming. *Earth's Future*, 6(2), 264-285.

Jacob, K. H., Gornitz, V., y Rosenzweig, C. (2007). Vulnerability of the New York City metropolitan area to coastal hazards, including sea-level rise: inferences for urban coastal risk management and adaptation policies. *Managing coastal vulnerability*, 61-88.

Jansa, A., Homar, V., Romero, R., Alonso, S., Guijarro, J. y Ramis, C. (2016). Extension of summer climatic conditions into spring in the Western Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 37 (4), 1938-1950.

Jarratt, D. y Davies, N. (2019). Planning for Climate Change Impacts: Coastal Tourism Destination Resilience Policies, *Tourism Planning & Development*, 10.

Jevrejeva, S., Wolf, J., Byrne, D., Bricheno, L., de Dominicis, M., Brown, J., y Rynders, S. (2019). Climate change, modelling and monitoring; impacts on coastal hazards for Small Island Developing States. *In Geophysical Research Abstracts*, 21.

Jones, R. N., y Preston, B. L. (2011). Adaptation and risk management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2), 296-308.

Jones, R. N., Patwardhan, A., Cohen, S. J., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R., y Von Storch, H. (2014). Foundations for decision making 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.

Jump, A. S., Mátyás, C., y Peñuelas, J. (2009). The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in ecology & evolution*, 24(12), 694-701.

Kellens, W., Neutens, T., Deckers, P., Reyns, J., y De Maeyer, Ph. (2012). Coastal flood risks and seasonal tourism: Analysing the effects of tourism dynamics on casualty calculations. *Natural Hazards*, 60, 1211-1229.

Kelman, I. (2006). Island Security and Disaster Diplomacy in the Context of Climate Change. *Les Cahiers de la Sécurité*, 63, 61-94.

Kelman, I. (2015). Climate change and the Sendai framework for disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(2), 117-127.

Kelman, I., Gaillard, J. C., y Mercer, J. (2015). Climate change's role in disaster risk reduction's future: Beyond vulnerability and resilience. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(1), 21-27.

Khan, M. R., y Roberts, J. T. (2013). Adaptation and international climate policy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(3), 171-189.

Khonje, W y Travis, M. (2019). Strengthening Disaster Resilience in Small States: Commonwealth Perspectives. Commonwealth Secretariat. 252.

King, D., Gurtner, Y., Firdaus, A., Harwood, S., y Cottrell, A. (2016). Land use planning for disaster risk reduction and climate change adaptation. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*.

Kirshen, P., Knee, K., y Ruth, M. (2008). Climate change and coastal flooding in Metro Boston: impacts and adaptation strategies. *Climatic Change*, 90(4), 453-473.

Klein, R.J., Huq, F. Denton, T.E. Downing, R.G. Richels, J.B. Robinson, y F.L. Toth. (2007) Inter-relationships between adaptation and mitigation. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F.

Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 745-777.

Klein, R.J., Midgley, B.L., Preston, M., Alam, F.G., Berkhout, K., y Shaw, D. (2014). Adaptation opportunities, constraints, and limits. 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. 899-943.

Knutson, T.R., McBride, J.L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J.P., Srivastava, A.K. y Sugi, M. (2010). Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, 3, 157-163.

Kwadijk, J. C., Haasnoot, M., Mulder, J. P., Hoogvliet, M. M., Jeuken, A. B., van der Krogt, R. A., y de Wit, M. J. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. *Wiley interdisciplinary reviews: climate change*, 1(5), 729-740.

Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS*, 4, 1-22.

Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., y Weber, E. (2012). Climate Change: New Dimensions in Disaster Risk, Exposure, Vulnerability, and Resilience. In C. Field, V. Barros, T. Stocker, & Q. Dahe (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (25-64). Cambridge: Cambridge University Press.

Le Masson, V., y Kelman, I. (2011). Disaster risk reduction on non-sovereign islands: La Réunion and Mayotte, France. *Natural Hazards*, 56(1), 251-273.

Ledru, A. (1982). *Viaje a la isla de Tenerife (1796)*. La Orotava, José A. Delgado Luis.

Lenzen, M., Sun, Y. Y., Faturay, F., Ting, Y. P., Geschke, A., y Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8(6), 522-528.

Ley 17/2015, de 9 de Julio, del Sistema Nacional de Protección Civil.

Lew, A. A., y Cheer, J. M. (Eds.). (2017). *Tourism resilience and adaptation to environmental change: Definitions and frameworks*. London, Routledge.

Lewis, S. L., y Maslin, M. A. (2015). Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171-180.

Libro Blanco. (2009). Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación. Bruselas.

Lima, I. P. (2012). Inundações urbanas: desafios ao ordenamento do território. O caso da cidade da praia (cabo verde). Tesis de Maestría.

Lin, B. B., Capon, T., Langston, A., Taylor, B., Wise, R., Williams, R., y Lazarow, N. (2017). Adaptation pathways in coastal case studies: lessons learned and future directions. *Coastal Management*, 45(5), 384-405.

Liu, M., G.A. Vecchi, J.A. Smith, and H. Murakami. (2017). The Present-Day Simulation and Twenty-First-Century Projection of the Climatology of Extratropical Transition in the North Atlantic. *Journal of Climate*, 30, 2739-2756.

López-Díez, A.; Dorta, P.; Febles, M.; Díaz-Pacheco, Jaime. (2016). Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares: El caso de Canarias. Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio M.; Moltó Mantero, Enrique (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante; [Sevilla]: Asociación Española de Climatología, 535-544.

López-Díez, A., Dorta, P., Díaz-Pacheco, J.; Rodríguez-Báez, J. (2017). Precipitaciones estivales en Canarias. En Allende, F; Cañada, R; Fernández-Mayoralas, G; Gómez, G; López, N; Palacios, A; Rojo, F. y Vidal M.J. (eds.) *Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global*. Actas. XXV Congreso de la Asociación Española de Geografía, Madrid, Dpto. Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid y Ediciones UAM. pp 2736.

López-Díez, A., Dorta, P., Díaz-Pacheco, Jaime. y Caraballo Acosta, O. (2018). Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: Temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016). En Montávez Gómez, Juan Pedro, et al. (eds.). *El clima: aire, agua, tierra y fuego*. Madrid: Asociación Española de Climatología; Agencia Estatal de Meteorología, 749-759.

López-Díez, A., Máyer, P.; Díaz-Pacheco, J.; Dorta, P. (2019). Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain). *Atmosphere*, 10, 809.

López, J. (1985). Observaciones de Humboldt sobre el clima del Teide. *Estudios Geográficos*. 181, 409-415.

López, J. (1987). Importancia decisiva del Teide en la historia de la Climatología. *Arbor*, 487, 41-72.

Luque, A., Martín, J., Dorta P. y Mayer, P. (2014). Temperature Trends on Gran Canaria (Canary Islands). An Example of Global Warming over the Subtropical Northeastern Atlantic. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(1), 20-28.

MAC-Clima. (2020). Sistema de observación meteorológica y oceánica como herramienta para el fomento de la resiliencia y adaptación al cambio climático en el espacio de cooperación. Proyecto Interreg-Mac 2014-2020.

Machado, L. P. (2011). The consequences of natural disasters in touristic destinations: The case of Madeira Island-Portugal. *Tourism and Hospitality Research*, 12, 1, 50-66.

Madeira, J. (2005). The volcanoes of Azores Islands: a world-class heritage». IV International Symposium ProGeo on the Conservation of the geological Heritage. Lattex. Facultad of Sciences. University of Lisbon, Portugal, 105.

Marcos, M., Puyol, B., Calafat, F. M., y Woppelmann, G. (2013). Sea level changes at Tenerife Island (NE Tropical atlantic) since 1927. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(10), 4899-4910.

Martín-Esquivel, J. L., Bethencourt, J., y 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.

Martín-Esquivel, J. L., Marrero, M. V., Del Arco, M., y Garzón, V. (2015). Aspectos clave para un plan de adaptación de la biodiversidad terrestre de Canarias al cambio climático. Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 573-580.

Martín-Esquivel, J. L., y Pérez-González, M.J. (2019). Cambio Climático en Canarias "Impactos". Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Panificación Territorial. Editorial Turquesa.

Martín-Ruiz, J.F. (2001). Geografía de Canarias, Sociedad y Medio Rural. Ediciones del Cabildo de Gran Canaria.

Martín-Vide, J. (2008). La nueva realidad del calentamiento global. Un decálogo del cambio climático. *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 12, 19.

Martín-Vide, J. (2009). Conceptos previos y conceptos nuevos en el estudio del cambio climático reciente. *Investigaciones Geográficas*, (49), 51-63.

Martín, J.L., Bethencourt, J. y 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, 343-355.

Martín, J. L., Marrero, M. V., Del Arco, M., y Garzón, V. (2015). Aspectos clave para un plan de adaptación de la biodiversidad terrestre de Canarias al cambio climático. Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 573-580.

Martínez, F. L., y Morales, A. P. (2017). Influencia del turismo residencial sobre el riesgo de inundación en el litoral de la región de Murcia. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21.

Marzol, M.V. (1987). El régimen anual de las lluvias en el archipiélago canario. *Ería*, 14, 187-194.

Marzol, M.V. (1988a). La lluvia, un recurso natural para Canarias. Santa Cruz de Tenerife. Caja General de Ahorros de Canarias.

Marzol, M.V. (1988b). Situaciones atmosféricas de lluvias intensas en Canarias. Reunión científica internacional sobre Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo, Alicante-Murcia, 16.

Marzol, M.V. (2002). Lluvias e inundaciones en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A; 3.

Marzol, M.V., Dorta, P., Valladares, P., Morín, P. Sanchez Megía, J.L. y Abreu, M. (1994). La captation de l'eau à Tenerife (Iles Canarias). L'utilisation des brouillards. Publications de l'Assotiation Internationale de Climatologie, Thesalóniki (Grecia), VII, 83-91.

Marzol, M.V., Sánchez, J.L., Valladares, P., Pérez, R. y Dorta, P. (1996). Captación del agua del mar de nubes en Tenerife. Método e Instrumental. Clima y agua: la gestión de un recurso Climático. Madrid, Edit. Marzol, Dorta y Valladares, 333-350.

Marzol, M. V. (2005). La captación del agua de la niebla en la isla de Tenerife. CajaCanarias.

Marzol, M.V., Yanes, A., Romero, C., Brito de Acebedo, E, Prada, S. y Martins, A. (2006). Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde). En: Cuadrats et al (Eds.). Clima, Sociedad y Medio Ambiente, AEC, Zaragoza, 443-452.

Marzol, M. V., Sánchez, J., y García, G. (2010). Effects of fog on climatic conditions at a sub-tropical montane cloud forest site in northern Tenerife (Canary Islands, Spain) (pp. 359-364). Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Máyer, P. (2001). Lluvias e inundaciones en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1950-1999). En: Pérez Cueva, A.J., López Baeza, E. y Tamayo Carmona, J. (Eds.). El tiempo del clima. Valencia: Asociación Española de Climatología, 2001, p. 377-387.

Máyer, P. (2002). Desarrollo urbano e inundaciones en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1869-2000). *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (28), 145-159.

Máyer, P. (2003). Lluvias e inundaciones en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1869-1999). ULPGC y Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria: Las Palmas de Gran Canaria.

Máyer, P. (2005). Riesgos asociados a episodios de lluvia intensa en Gran Canaria. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Máyer, P. y Pérez-Chacón, E. (2006a). Tourist activity and floods on the southern coast of Gran Canaria. An induced risk?. *Journal of Coastal Research*, 48, 77-80.

Máyer, P., Pérez Chacón, E. y Romero, L. (2006b). Lluvias e inundaciones en los centros turísticos de Gran Canaria: el caso de San Bartolomé de Tirajana. *Investigaciones Geográficas*, 41, 155-173.

Máyer, P., Espino, E., y Martín, L. (2006). Rainfall and floods in tourist centres in Gran Canaria: the case of San Bartolomé de Tirajana. *Investigaciones Geográficas*, (41), 155.

Máyer, P. y Marzol, M.V. (2014). La concentración pluviométrica diaria y las secuencias lluviosas en Canarias: factores de peligrosidad. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (65).

Máyer, P., Marzol, M. V., Heriberto, J., Díez-Herreó, A., Génova M., y Saz, M. Á. (2016). Análisis de los episodios de lluvia torrencial en el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (La Palma, Islas Canarias, España). En: Olcina et al (Eds.) *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante: Asociación Española de Climatología.

Máyer, P; Marzol, M.V. y Parreño, J.M. (2017). Precipitation trends and daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43.

Máyer, P., Díaz-Pacheco, J., Cabrera, E. F., López-Díez, A., Hernández-Calvento, L., Yanes, A. Pérez-Chacón, E., Dorta, P. y Fernández-Móniz, P. (2018). A flood risk assessment model based on a multi-hazard approach for semiarid islands and coastal touristic regions. In *Proceedings of the SRA-E-Iberian Chapter (SRA-EI) Conference: Interdisciplinarity in practice and in research on society and the environment: Joint paths towards risk analysis*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. 45-46.

Measham, T. G., Preston, B. L., Smith, T. F., Brooke, C., Gorddard, R., Withycombe, G., y Morrison, C. (2011). Adapting to climate change through local municipal planning: barriers and challenges. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 16(8), 889-909.

Meehl, G.A.; Stocker, T. F.; Collins, W. D.; Friedlingstein, P.; Gaye, T.; Gregory, J. M.; Kitoh, A.; Knutti, R.; Murphy, J. M.; Noda, A.; Raper, S. C. B.; Watterson, I. G.; Weaver, A. J.; Zhao, Z. C. Global climate projections. (2007). In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. editors, editor/s. IPCC, 2007: Climate Change 2007: the physical science basis. contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

Mercer, J., Kelman, I., do Rosario, F., de Deus de Jesus Lima, A., da Silva, A., Beloff, A. M., y McClean, A. (2014). Nation-building policies in Timor-Leste: disaster risk reduction, including climate change adaptation. *Disasters*, 38(4), 690-718.

Millares, A. (1860). Historia de la Gran Canaria. Las Palmas, imprenta de M. Collina.
Mimura, N., Nurse, L., McLean, R., Agard, J., Briguglio, L., Lefale, P., y Sem, G. (2007). Small islands. *Climate change*, 16, 687-716.

MITECO. (2018). Datos de visitantes a los Parques Nacionales 1996-2017. Ministerio de Transición Ecológica.

MITECO. (2019). El observatorio de Izaña confirma la entrada del ser humano en territorio inexplorado: 415 ppm de CO₂. Gabinete de Prensa. Ministerio para la Transición Ecológica.

Moreno, L., y Conversi, D. (2017). Antropoceno, Cambio Climático y Modelo de Bienestar. Documentación social, 183.

Narváez, L., Lavell, A., y Pérez, G. (2009). La gestión del riesgo de desastres. Secretaría General de la Comunidad Andina.

National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA, 2020). Stations data base.

Navalpotro, J. A, y Pérez, M. S. (2018). Turismo y riesgos naturales en las “Rias Baixas” gallegas. Estudio de caso. *Cuadernos de turismo*, (42), 481-500.

Navascues, B., y Rus, C. (1991). Carbon dioxide observations at Izaña Base-line Station, Tenerife (Canary Island) 1984-1988. *Tellus*, 43B, 118-125.

Nordhaus, W. (2013). El casino del clima. Editorial Deusto.

- Nurse, L. A., Sem, G., Hay, J. E., Suarez, A. G., Wong, P. P., Briguglio, L., & Ragoonaden, S. (2001). Small island states. *Climate change*, 843-875.
- Nurse, L. A., McLean, R. F., Agard, J., Briguglio, L. P., DuvatMagnan, V., Pelesikoti, N., y Webb, A. (2014). Small islands. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. In V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, K. J. Mastrandrea, T. E. Mach, M. Bilir, ... L. L. White (Eds.), Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1613-1654). Cambridge: Cambridge University Press.
- O'Brien, K., Sygna, L., Leichenko, R., Adger, W. N., Barnett, J., Mitchell, T., Schipper, L., Tanner, t., Vogel, C. y Mortreux, C. (2008). Disaster risk reduction, climate change adaptation and human security. GECHS Report.
- Oberdorfer, J. A., y Buddemeier, R. W. (1988). Climate change: effects on reef island resources. Lawrence Livermore National Lab., CA (USA); San Jose State Univ., CA (USA). Dept. of Geology.
- Olcina, J. (2012). Turismo y cambio climático: una actividad vulnerable que debe adaptarse. *Investigaciones Turísticas*. 4, 1-34.
- Olcina, J., Sauri, D., y Vera-Rebollo, J. F. (2016). Turismo, cambio climático y agua: escenarios de adaptación en la costa mediterránea española. Libro Jubilar en homenaje al profesor Antonio Gil Olcina. Instituto Interuniversitario de Geografía y Universidad de Alicante.
- Olcina, J., y Vera-Rebollo, J. F. (2016). Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 36(2), 321-352.
- Olcina, J. y Miró-Pérez, J.J. (2017). Actividad turística y cambio climático en la Comunidad Valenciana. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Investigaciones Turísticas; Valencia: Agència Valenciana del Turisme, 130.
- Ory, F. (1994). Estudios y observaciones meteorológicas durante el siglo XIX en las Islas Canarias. *Calendario Meteorológico 1994*. Madrid, MOPTMA, 219-224.
- Ory, F. (1995). Las primeras investigaciones meteorológicas en el pico del Teide. *Calendario Meteorológico 1995*. Madrid, MOPTMA, 249-260.
- Palanisamy, H., Becker, M., Meyssignac, B., Henry, O., y Cazenave, A. (2012). Regional sea level change and variability in the Caribbean Sea since 1950. *Journal of Geodetic Science*, 2(2), 125-133.

Palutikof, J. P., Street, R. B., & Gardiner, E. P. (2019). Decision support platforms for climate change adaptation: an overview and introduction. *Climatic Change*, 153, 459-476.

Papalexiou, S., y Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, 55, 4901- 4914.

Parry, M., y Carter, T. (1998). Climate impact and adaptation assessment: a guide to the IPCC approach. Earthscan publications Ltd.

Parry, M., Arnell, N., Hulme, M., Nicholls, R.J., y Livermore, M. (1998). Adapting to the inevitable. *Nature*, 395, 741.

Parry, M. (2002). Scenarios for climate impact and adaptation assessment. *Global Environmental Change*, 12(3), 149-153.

Patiño, J., Mateo, R. G., Zanatta, F., Marquet, A., Aranda, S. C., Borges, P. A., y Muñoz, J. (2016). Climate threat on the Macaronesian endemic bryophyte flora. *Scientific reports*, 6, 29156.

Patt, A., Klein, R. J., y de la Vega-Leinert, A. (2005). Taking the uncertainty in climate-change vulnerability assessment seriously. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(4), 411-424.

Pearson, P. J., y Foxon, T. J. (2012). A low carbon industrial revolution? Insights and challenges from past technological and economic transformations. *Energy Policy*, 50, 117-127.

Pelling, M. y J. I. Uitto. (2001). Small Island Developing States: Natural Disaster Vulnerability and Global Change. *Environmental Hazards* ,3(2),49-62.

Pelling, M. (2003). The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience. Earthscan.

Pérez, J. C., Díaz, J. P., González, A., Expósito, J., Rivera-López, F., y Taima, D. (2014). Evaluation of WRF parameterizations for dynamical downscaling in the Canary Islands. *Journal of climate*, 27(14), 5611-5631.

Petzold, J. y Ratter, B. (2015). Climate change adaptation under a social capital approach. An analytical framework for small islands. *Ocean & Coastal Management*, 112, 36-43.

Polsky, C., Schröter, D., Patt, A., Gaffin, S., Martello, M.L., Neff, R., Pulsipher, A. y Selin, H. (2003): Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight-Step Approach. Belfer Center for Science and International Affairs Working Paper,

Environment and Natural Resources Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.

Posmentier, E. S., Cane, M. A., y Zebiak, S. E. (1989). Tropical Pacific climate trends since 1960. *Journal of climate*, 2(7), 731-736.

Prabhakar, S. V. R. K., Srinivasan, A., & Shaw, R. (2009). Climate change and local level disaster risk reduction planning: need, opportunities and challenges. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 14(1), 7.

PRAC. (2011). Estratégias Regional para as Alterações Climáticas da Açores. Governo dos Açores.

Prada, S., Gaspar, M., Silva, M., Cruz, J., Portela, M., y Hora, G. (2003). Recursos hídricos da Ilha da Madeira. *Comunicações Do Instituto Geologico e Mineiro*, 90, 125- 142.

Prada, S., Perestrelo, M., Nunes, A., Figueira, C., y Cruz, J. V. (2005). Disponibilidades hídricas da Ilha da Madeira. Proyecto AQUAMAC: técnicas y métodos para la gestion sostenible del agua en la Macaronesia, 261-294.

Prideaux, B., Laws, E., y Faulkner, B. (2003). Events in Indonesia: exploring the limits to formal tourism trends forecasting methods in complex crisis situations. *Tourism management*, 24(4), 475-487.

PROMOTUR. (2018). Serie histórica del perfil del turista. 2006 - 2018. Gobierno de Canarias.

Quirantes, F., Fernández-Pello, L., Romero, C. y Yanes, A. (1993). Los aluviones históricos en Canarias. Nuevos procesos territoriales (XIII Congreso Nacional de Geografía), Sevilla, 611-615.

Ramalheira, A., Portela, M., y Almeida, A. (2014). Classificação de precipitações associadas a aluviões na região do Funchal, Ilha da Madeira, com recurso a cadeias de Markov. VIII Encontro Nacional de Riscos. Imprensa da Universidade de Coimbra, Guimarães, 61-66.

Rashed, T., y Weeks, J. (2003): Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576.

Ribeiro, O. (1960): A ilha do Fogo e as suas erupções. Junta de investigações do ultramar.

Riddell, G. A., van Delden, H., Maier, H. R., & Zecchin, A. C. (2019). Exploratory scenario analysis for disaster risk reduction: considering alternative pathways in disaster risk assessment. *International journal of disaster risk reduction*, 39.

Rodríguez-Báez, J., Yanes, A. y Dorta, P. (2017). Determinación y caracterización de situaciones de temporal marino e inundación costera por rebase del oleaje en San Andrés, NE de Tenerife (1984-2014). *Investigaciones Geográficas*, 68, 95-114.

Romero, L., y Wáyer, P. (2002). Episodios de sequía en Gran Canaria en el siglo XVII: análisis de las rogativas como método de reconstrucción climática. *El agua*, 533-542.

Romero Ruiz, M.C. (1991). Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.

Rosselló-Nadal, J. (2014). How to evaluate the effects of climate change on tourism. *Tourism Management*, 42, 334-340.

Royé, D., y Martí, A. (2015). Análisis de las noches tropicales en la fachada atlántica de la Península Ibérica. Una propuesta metodológica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (69).

Royé, D., Tedim, F., Martín-Vide, J., Salis, M., Vendrell, J., Lovreglio, R., y Leone, V. (2020). Wildfire burnt area patterns and trends in Western Mediterranean Europe via the application of a concentration index. *Land Degradation & Development*, 31(3), 311-324.

Ruddiman, W. F. (2013). The anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 45-68.

Ruiz Pérez, M. (2011): Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe: una aproximación desde la geografía del riesgo. Tesis Doctoral dirigida por Gutiérrez Puebla, J y Grimalt Gelabert, M. Madrid, Universidad Complutense.

Sánchez-Benítez, A., García-Herrera, R. y Vicente-Serrano, S. (2016). Revisiting precipitation variability, trends and drivers in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, 37(9), 3565-3576.

Sánchez-Zavaleta, C. A. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33, 128-138.

Sanz, R., Cardós, C., y Barrera, E. (2007). Heat waves in the Canary Islands. In 7th EMS Annual Meeting 8th European Conference on Applications of Meteorology.

Sawyer, J. S. (1972). Man-made carbon dioxide and the "greenhouse" effect' by the eminent atmospheric scientist. *Nature*, 239, 23-26.

Schipper, L., y Pelling, M. (2006). Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters*, 30(1), 19-38.

Schmidt-Thomé, P., Nguyen, T. H., Pham, T. L., Jarva, J., y Nuottimäki, K. (2014). Climate change adaptation measures in Vietnam: Development and Implementation. Springer.

Schmidt-Thomé, P. (2017). Towards applying climate change adaptation. *Investigaciones Geográficas*, 67, 49-60.

Scott, D., Amelung, B., Becken, S., Ceron, J.P., Dubois, G., Gössling, y Simpson, M. (2008). Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges. Madrid: United Nations World Tourism Organization.

Scott, D., Gössling, S., y Hall, C. M. (2012a). International tourism and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(3), 213-232.

Scott, D., Simpson, M. C., y Sim, R. (2012b). The vulnerability of Caribbean coastal tourism to scenarios of climate change related sea level rise. *Journal of Sustainable Tourism*, 20(6), 883-898.

Scott, D., M. Ruddy, B. Amelung, y M. Tang, (2016a): An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. *Atmosphere*, 7(6).

Scott, D., Hall, M, y Gössling, S. (2016b). A review of the IPCC Fifth Assessment and implications for tourism sector climate resilience and decarbonization, *Journal of Sustainable Tourism*, 24(1), 8-30.

Scott, D. y Gössling, S. (2018). Tourism and Climate Change Mitigation. Embracing the Paris Agreement: Pathways to Decarbonisation. European Travel Commission (ETC), Brussels, Belgium, 39.

Scott, D., Hall, M, y Gössling, S. (2019). Global tourism vulnerability to climate change, *Annals of Tourism Research*, 77, 49-61.

Scott, R. (1900). Note of a remarkable dust haze experienced at Teneriffe, Canary Islands, February 1898. *Royal Meteorological Office*, 33-36.

Serrano-Notivol, R., Martín-Vide, J., Saz, M. A., Longares, L. A., Beguería, S., Sarricolea, P., y De Luis, M. (2018). Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38.

Shultz, J. M., Cohen, M. A., Hermosilla, S., Espinel, Z., & McLean, A. (2016). Disaster risk reduction and sustainable development for small island developing states. *Disaster health*, 3(1), 32-44.

Simonet, G. (2010). The concept of adaptation: interdisciplinary scope and involvement in climate change. *SAPIEN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, (3.1).

Simpson, M. C. (2010). Quantification and Magnitude of Losses and Damages Resulting from the Impacts of Climate Change: Modelling the Transformational Impacts and Costs of Sea Level Rise in the Caribbean (Key Points and Summary for Policy Makers Document). United Nations Development Programme (UNDP).

Smith, B., Burton, I., Klein, R. J., y Street, R. (1999). The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), 199-213.

Smith, W. (1922). Note on a fall of dust, "Blood rain" at Gran Canaria, 8th to 11th February 1920. *The Canary Island, their History, Natural History an Scenary*, London, Appendix A at the Bannerman, David, A.

Solecki, W., Leichenko, R., y O'Brien, K. (2011). Climate change adaptation strategies and disaster risk reduction in cities: connections, contentions, and synergies. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 135-141.

Sperling, F.N., Washington, R y Whittaker, R.J. (2004). Future climate change of the subtropical North Atlantic: implications for the cloud forests of Tenerife, *Climatic Change*, 65, 103-123.

Stephenson, T. S., Vincent, L. A., Allen, T., Van Meerbeeck, C. J., McLean, N., Peterson, T. C., y Boekhoudt, J. R. (2014). Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961-2010. *International Journal of Climatology*, 34(9), 2957-2971.

Stern, N., y Stern, N.H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge, University press.

Stern, N. (2013). The structure of economic modeling of the potential impacts of climate change: grafting gross underestimation of risk onto already narrow science models. *Journal of Economic Literature*, 51(3), 838-59.

Street, R. B., Pringle, P., Lourenço, T. C., y Nicolletti, M. (2019). Transferability of decision-support tools. *Climatic Change*, 153(4), 523-538.

Tarife-Méndez, R., Hernández Barrera, S., Gámiz-Fortis, S.R., Castro-Díez, Y. Y Esteban-Parra, M.J. (2012). Análisis de los extremos pluviométricos en las islas Canarias y su relación con el índice NAO. VIII Congreso Internacional AEC. Salamanca.

Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Chen, A. A., y Stephenson, K. A. (2012). Climate change and the Caribbean: review and response. *Caribbean Studies*, 169-200.

The Smithsonian Institution's Global Volcanism Program (GVP). (2018): Historic Data Base.

The World Bank (IBRD). (2019). Data Bank.

Thomalla, F., Downing, T., Spanger-Siegfried, E., Han, G., y Rockström, J. (2006). Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. *Disasters*, 30(1), 39-48.

Tomé, R., Miranda, P., Brito de Azevedo, E. y Teixeira, M. A. (2014). Climate Change in Small Islands. EGU General Assembly Conference Abstracts. Vol. 16, p. 9056.

Tonmoy, F. N., Rissik, D., y Palutikof, J. P. (2019). A three-tier risk assessment process for climate change adaptation at a local scale. *Climatic Change*, 153(4), 539-557.

Torres, P., Madeira, J., Silva, L.C., Brum Da Silveira, A., Serralheiro, A., y Mota, A. (1997). A erupção vulcânica na ilha do Fogo. Ministerio da Ciência e da tecnologia. Instituto de Investigação Científica Tropical. Lisboa, 119-132.

Torriani, L. (1978). Descripción de las Islas Canarias. Traducido y notas de A. Cioranescu. Santa Cruz de Tenerife, Goya.

Trotz, U., y Lindo, S. (2013). Vulnerability and resilience building in CARICOM countries. *Small Island Digest*, 2(1), 25-39.

Turco, M., Jerez, S., Augusto, S., Tarín-Carrasco, P., Ratola, N., Jiménez-Guerrero, P. y Trigo, R. (2019). Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal. *Scientific Reports*, 9, 13886.

UNDRO. (1991). Mitigating natural disasters: Phenomena, effects and options: A manual for policy makers and planners. UN. Office of the Disaster Relief Co-Ordinator. Nueva York, US.

UNDRR. (2005). Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. Adoptado en Kobe, Hyogo (Japón) el 22 de enero de 2005.

UNDRR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Naciones Unidas.

UNDRR. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030: adoptado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015.

UNDRR. (2019). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR).

United Nations (2008). UNFCCC, Medidas adoptadas por la Conferencia de las Partes en su 13º período de sesiones. FCCC/CP/2007/6/Add.1.

United Nations. (2008). Integrating practices, tools and systems for climate risk assessment and management and strategies for disaster risk reduction into national policies and programmes. FCCC/TP/2008/4. Geneve.

United Nations. (2010). Implementation of the Nairobi work programme on impacts, vulnerability and adaptation to climate change, 2006-2010. Manila.

UNWTO. (1998). Handbook on Natural Disaster Reduction in Tourist Areas. World Tourism Organization and the World Meteorological Organization.

Valladares, P. (1995). Estudio geográfico del mar de nubes en la vertiente Norte de Tenerife. Memoria de Licenciatura. Departamento de Geografía de la Universidad de La Laguna. Inédita.

Van Aalst, M. K., Cannon, T., y Burton, I. (2008). Community level adaptation to climate change: the potential role of participatory community risk assessment. *Global environmental change*, 18(1), 165-179.

Van Westen, C. J. (2013). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. *Treatise on geomorphology*, 3, 259-298.

Vaquero, J. M., García-Herrera, R., Wheeler, D., Chenoweth, M., y Mock, C. J. (2008). A historical analog of 2005 hurricane Vince. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(2), 191-201.

Venton, P., y La Trobe, S. (2008). Linking climate change adaptation and disaster risk reduction. In Linking climate change adaptation and disaster risk reduction. Tearfund; Institute of Development Studies (IDS).

Vera-Galván, J.R. (1985). El turismo. Geografía de Canarias, Editorial Interinsular Canaria, Santa Cruz de Tenerife, 327-352.

Vera-Rebollo, J. (2003). Riesgos naturales en la actividad turística. *Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, (23), 159-176.

Vera-Rebollo, J., y Treviño-Pérez, A. (2010). Transformaciones antrópicas e inundabilidad en áreas turísticas litorales: estudio de caso de la costa de Orihuela (Alicante). *Papeles de Geografía*. 51- 52, 317-32.

Vera-Rebollo, J., y Ibars, J. (2020). El impacto del covid-19 en la actividad turística de la Comunitat Valenciana. Institut Universitari d'Investigacions Turístiques. Universitat d'Alacant.

Viera y Clavijo, J. (1967). Noticias de la Historia General de las Islas Canarias. Santa Cruz de Tenerife, Goya Ediciones.

Vousdoukas, M. I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T. A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., y Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature climate change*, 10(3), 260-263.

Whittaker, R. J., y Fernández-Palacios, J. M. (2007). Island biogeography: ecology, evolution, and conservation. Oxford University Press.

Wijaya, N., y Furqan, A. (2018). Coastal tourism and climate-related disasters in an archipelago country of Indonesia: tourists' perspective. *Procedia Engineering*, 212, 535-542.

Willows, R., Reynard, N., Meadowcroft, I., y Connell, R. (2003). Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report. UK Climate Impacts Programme.

Wong, P. (1998). Coastal tourism development in Southeast Asia: relevance and lessons for coastal zone management. *Ocean & Coastal Management*. 38, 89-109.

Zamora, M. E., Huerta, A. H., Maqueo, O. P., Badillo, G. B., y Bernal, S. I. (2016). Cambio global: el Antropoceno. CIENCIA ergo-sum, *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 23(1), 67-75.

