



U

LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE ARQUITETURA
LISBON SCHOOL OF ARCHITECTURE
UNIVERSIDADE DE LISBOA

**PREDICCIÓN Y PROYECCIÓN DE HÁBITATS
DE ESPECIES VEGETALES EN PAISAJES URBANOS:**

Caso de Estudio del Proyecto *Puente Verde de Queluz* en Sintra, Portugal

URBANISMO

Autora: Arquiteta e Arquiteta Paisagista Alejandra María Orozco Meza

Orientador: Prof. Doutor Jorge Manuel Frazão Cancela

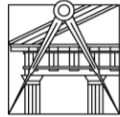
Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

2024



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE ARQUITETURA
LISBON SCHOOL OF ARCHITECTURE
UNIVERSIDADE DE LISBOA

**PREDICCIÓN Y PROYECCIÓN DE HÁBITATS
DE ESPECIES VEGETALES EN PAISAJES URBANOS:**
Caso de Estudio del Proyecto *Puente Verde de Queluz* en Sintra, Portugal
URBANISMO

Autora: Arquiteta e Arquiteta Paisagista Alejandra María Orozco Meza

Orientador: Prof. Doutor Jorge Manuel Frazão Cancela

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

2024



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE ARQUITETURA
LISBON SCHOOL OF ARCHITECTURE

UNIVERSIDADE DE LISBOA

PREDICCIÓN Y PROYECCIÓN DE HÁBITATS DE ESPECIES VEGETALES EN PAISAJES URBANOS:

Caso de Estudio del Proyecto *Puente Verde de Queluz* en Sintra, Portugal

CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

Presidente:

Doutora Carla Sofia Alexandrino Pereira Morgado
Professora Auxiliar com Agregação
Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Vogais:

Doutora Angélica Aparecida Tanus Benatti Alvim
Professora Titular
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie

Doutor Leonel de Sousa Fadigas
Professor Associado com Agregação Aposentado
Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Doutor José Miguel Esteves Lameiras
Professor Auxiliar
Faculdade de Ciências da Universidade de Porto

Doutor Pedro Miguel Ramos Arsénio
Professor Auxiliar
Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Jorge Manuel Frazão Cancela
Professor Auxiliar
Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, Orientador.

The research presented in this thesis was conducted at the Lisbon School of Architecture, University of Lisbon, and was graciously supported by funding from ENDÉMICA Arquitectura del Paisaje S.A.

Copyright © 2024 Alejandra M. Orozco Meza

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without the express permission of the author.

Cover illustration: Alejandra M. Orozco Meza

Design, illustrations, layout, and text (unless otherwise stated):

Alejandra M. Orozco Meza

Designed and illustrated by Alejandra M. Orozco Meza,

Co-Founder and Director of

© ENDÉMICA Arquitectura del Paisaje S.A.

endémica
arquitectura del paisaje

Contact information for Alejandra M. Orozco Meza:

alejandra.orozco@endemica.cr

www.endemica.cr

[@endemica.cr](#)

Printer: ZOOMCÓPIA Impressão Digital (www.zoomcopia.pt)

endémica
arquitectura del paisaje

RESUMEN

En esta investigación, se explora la viabilidad de los *Modelos de Distribución de Especies* (SDMs) en el ámbito del ordenamiento del territorio, utilizando como caso de estudio el *Proyecto de Ejecución del Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ) en Sintra, Portugal. Este proyecto tiene como objetivo utilizar 17 especies vegetales autóctonas con el propósito de fomentar la continuidad ecológica a lo largo del Río Jamor. Estas 17 especies vegetales constituyen el objeto de estudio. El propósito principal de esta investigación es desarrollar SDMs para predecir el hábitat actual y proyectar hábitats futuros para las especies propuestas. Estos análisis se basan en dos escenarios de cambio climático del siglo XXI de Nivel 1, SSP2-4.5 y SSP5-8.5, según el *Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático* (AR6 IPCC). Estos modelos sirven como herramientas para la gestión del paisaje, en respuesta a los impactos del cambio climático antropogénico y la pérdida de biodiversidad. La investigación aborda la siguiente pregunta: *¿Cómo la interpretación y descripción parcial de los hábitats actuales y futuros, considerando escenarios de cambio climático, pueden concretar acciones para la conservación y restauración del paisaje vegetal en contextos urbanos?* Específicamente, en los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, a través del *Proyecto Intermunicipal del Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA), particularmente, dentro del PE-PVQ. En conclusión, esta investigación ofrece una metodología replicable, escalable y comprensible para los SDMs. Estas herramientas son esenciales para la gestión del paisaje urbano en el contexto del cambio climático y la biodiversidad. El estudio identifica especies resilientes para PE-PVQ y sugiere aplicaciones prácticas en la planificación urbana, como refugios y corredores climáticos urbanos. Además, contribuye a una planificación urbana efectiva, comprendiendo interacciones complejas entre el cambio climático antropogénico y la biodiversidad, particularmente en cambios en la distribución de hábitats de especies.

Palabra-Claves: *SDMs; paisaje vegetal; cambio climático; especies resilientes; Ponte Verde de Queluz*

endémica
arquitectura del paisaje

RESUMO

Nesta investigação, é explorada a viabilidade dos *Modelos de Distribuição de Espécies* (SDMs, na sigla em inglês) no contexto do planeamento territorial, utilizando como caso de estudo o *Projeto de Execução da Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ) em Sintra, Portugal. Este projeto tem como objetivo utilizar 17 espécies vegetais autóctones com o propósito de promover a continuidade ecológica ao longo do Rio Jamor. Estas 17 espécies vegetais constituem o objeto de estudo da presente investigação.

O propósito fundamental desta investigação consiste no desenvolvimento de SDMs com o fim de prever o habitat atual e projetar os habitats futuros das espécies propostas no contexto do PE-PVQ. Estas análises são baseadas na utilização de dois cenários de alterações climáticas prioritários do século XXI do Nível 1, especificamente, SSP2-4.5 e SSP5-8.5, de acordo com o *Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas* (AR6 IPCC, na sigla em inglês). Estes modelos são concebidos como ferramentas para a gestão da paisagem vegetal no âmbito do planeamento territorial, em resposta aos impactos das alterações climáticas antropogénicas e à perda de diversidade biológica.

A investigação propõe abordar a seguinte questão de investigação: Como a interpretação e descrição parcial dos habitats atuais e futuros, considerando cenários de alterações climáticas, podem concretizar ações para a conservação e restauração da paisagem vegetal em contextos urbanos? Especificamente, nas cidades de Sintra, Oeiras e Amadora, através do *Projeto Intermunicipal do Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA), particularmente, no PE-PVQ.

A seguir, são descritas as três secções desta investigação, juntamente com as atividades mais significativas que as compõem:

- 1. Exploração da Metodologia dos SDMs.** Nesta secção, é discutida a metodologia dos SDMs desde seus fundamentos teóricos, conceituais e aplicativos: **(i)** é apresentada uma síntese crítica sobre a mudanças da distribuição das espécies, uma ferramenta que ganhou popularidade e poder no âmbito da ecologia quantitativa. Sua relevância não se limita apenas à conservação aplicada, mas estende-se a várias disciplinas ecológicas. Além disso, é um quadro de modelação amplamente utilizado em avaliações de impacto das alterações globais, permitindo projetar potenciais mudanças na distribuição, composição e abundância futura das espécies; **(ii)** são descritas cinco fases primordiais da modelagem dos SDMs: Conceituação;

Preparação de Dados; Ajuste do Modelo; Avaliação do Modelo; e Previsão e Projeção; **(iii)** é abordado um dos desafios mais significativos do século XXI: as alterações climáticas antropogênicas e sua interação com a biodiversidade; **(iv)** são descritos os cenários de Emissões, Concentração e Uso da terra, o Conjunto de Dados da *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections* (NEX-GDDP-CMIP6), bem como dois *Modelos Climáticos Globais* (GCMs, na sigla em inglês) selecionados para conduzir as análises nesta investigação: *Community Earth System Model Version 2* (CESM2) e *Model for Interdisciplinary Climate Research 6* (MIROC6); e finalmente, **(v)** são descritos os conjuntos de dados geoespaciais usados nesta investigação, que desempenham um papel fundamental no quadro do presente estudo.

2. **Aplicação da Metodologia dos SDMs no PE-PVQ.** Nesta secção, é abordada a aplicação concreta da metodologia dos SDMs no contexto do PE-PVQ: **(vi)** são apresentados os antecedentes da Área de Estudo, destacando as estratégias da *Zona Especial de Proteção do Palácio Nacional de Queluz* (ZEP-PNQ) e do Projeto Intermunicipal do EVA. Isso contextualiza o ambiente em que a metodologia dos SDMs será implementada; **(vii)** é fornecida uma descrição detalhada da proposta vencedora no *Concurso Público de Concepção para a Elaboração do Projeto do Ponte Verde de Queluz* (PVQ), bem como do próprio PE-PVQ. Essa análise é fundamental para compreender a gênese e os elementos-chave que configuram a estrutura do projeto; **(viii)** são descritas as fases para a aplicação prática dos SDMs às espécies propostas no PE-PVQ, que são conduzidas usando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Esta plataforma é usada para processar os conjuntos de dados geoespaciais selecionados. Para isso, são incorporados dois GCMs (CESM2 e MIROC6). Além disso, são projetados dois dos quatro cenários pertencentes ao quadro dos *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) do século XXI, do Nível 1: SSP2-4.5 e SSP5-8.5 para o ano de 2070. Esses cenários são concretizados através do conjunto de dados NEX-GDDP-CMIP6. Para garantir a precisão e robustez dos resultados, são ajustados dois algoritmos de aprendizagem de máquina: MaxEnt e *Random Forest*. Esses passos metodológicos tornam-se um pilar fundamental para compreender e antecipar as dinâmicas da distribuição das espécies no contexto do PE-PVQ.

3. Descrição da Cartografia das Espécies Estudadas em Portugal Continental. Nesta secção, são detalhados os mapas de distribuição das espécies objeto de estudo, a uma resolução espacial de 750 metros: **(ix)** é feita a representação gráfica da previsão da distribuição atual no contexto do cenário *histórico*, juntamente com duas projeções futuras plausíveis para o ano de 2070, sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, referentes às espécies autóctones pertencentes ao PE-PVQ; **(x)** são consignados os resultados referentes ao *valor de adequação lógica* na Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Jamor e no PE-PVQ. Além disso, são apresentados os dados sobre a área total que abrange o intervalo de distribuição para Portugal continental e, mais especificamente, na BH do Rio Jamor, bem como nos concelhos de Sintra, Oeiras e Amadora. Nessa análise, é adotado um limiar de 0.5, com base na premissa de que o desenho da amostragem é concebido de tal forma que as localidades com presença típica têm esse nível de probabilidade de presença.

Os resultados enfatizam a importância de selecionar e usar cinco espécies como espécies resilientes às alterações climáticas no PE-PVQ, independentemente dos cenários climáticos. *Antirrhinum linkianum* Boiss. e Reut., *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch e *Quercus coccifera* L. emergem como espécies resilientes porque o PE-PVQ está dentro da área considerada como possível refúgio climático de retenção, onde as condições climáticas são adequadas e estáveis para a persistência e adaptação dessas espécies. *Salvia rosmarinus* Spenn. e *Salvia sclareoides* Brot. também se destacam como espécies resilientes às alterações climáticas, porque o PE-PVQ está dentro da área considerada como possíveis refúgios climáticos de deslocamento, onde as condições climáticas mudam o suficiente para permitir sua persistência e adaptação. No entanto, alguns resultados levantam preocupações ao selecionar e usar 11 espécies que não são viáveis no PE-PVQ, a saber: *Cistus albidus* L., *Cistus salviifolius* L., *Coronilla valentina* subsp. *glauca* L., *Gladiolus illyricus* Koch, *Helichrysum stoechas* subsp. *stoechas* (L.) Moench, *Lavandula stoechas* L., *Ophrys fusca* subsp. *fusca* Link, *Orchis anthropophora* (L.) All., *Orchis italica* Poir., *Paeonia broteri* Boiss. e Reut., e *Teucrium fruticans* L. Isso ocorre porque os valores de *adequação lógica* previstos na BH do Rio Jamor e no PE-PVQ não estão de acordo com o intervalo de distribuição atual e futuro dessas espécies. Essas discrepâncias permanecem consistentes, independentemente dos cenários climáticos SSP2-4.5 e SSP5-8.5. A espécie *Fritillaria lusitanica* subsp. *lusitanica* Wikstr. foi excluída da lista de espécies modeladas porque apresenta um total de oito registros únicos de ocorrência em Portugal continental, e sugere-se que sejam disponibilizados pelo menos entre 20 e 30 registros de presença para obter um desempenho adequado do modelo.

Em resumo, a presente investigação produziu resultados substanciais que fornecem uma interpretação sólida e uma descrição parcial dos habitats atuais e futuros das 16 espécies autóctones portuguesas modeladas no PE-PVQ, considerando diferentes cenários de alterações climáticas. A metodologia desenvolvida, que utiliza SDMs, apresenta-se como uma ferramenta valiosa para o planeamento e gestão urbana, nomeadamente na identificação e otimização de refúgios climáticos urbanos e no estabelecimento de corredores climáticos urbanos. Esta metodologia é replicável, escalável e fácil de entender.

A relevância da investigação é acentuada pela identificação de espécies resilientes às alterações climáticas no PE-PVQ. No domínio do Urbanismo, estes resultados sugerem possíveis aplicações práticas, como o planeamento e gestão de áreas verdes urbanas com base nas espécies resilientes identificadas. A criação de refúgios climáticos urbanos e o estabelecimento de corredores climáticos urbanos poderiam ser exemplos concretos de ações a serem consideradas no âmbito dos instrumentos de planeamento e ordenamento territorial.

Para investigações futuras sugere-se uma abordagem de monitorização constante, estratégias de conservação adaptativas e validação empírica dos modelos preditivos, fortalecendo a confiabilidade das previsões e garantindo uma abordagem mais robusta para a gestão da paisagem vegetal do PE-PVQ. Este estudo transcende não apenas objetivos específicos, mas também abre a porta para um planeamento urbano mais eficaz, consciente das complexas interações entre as alterações climáticas antropogénicas e a biodiversidade, particularmente as mudanças na distribuição dos habitats das espécies.

Palavras-chave: *SDMs; paisagem vegetal; alterações climáticas; espécies resilientes; Ponte Verde de Queluz*

endémica
arquitectura del paisaje

DEDICATORIA

A **María Isabel Meza Castillo**, mi madre, quien con un amor incondicional me ha instado a enfrentar con valentía, dedicación y amor la creatividad, la complejidad y la intensidad que llevo dentro. A pesar de los más de 10.000 kilómetros que nos separaron desde mi llegada a Lisboa en 2014, y ahora los más de 12.000 kilómetros desde Milano, parece que la distancia nos acerca aún más. Tengo la riqueza más preciada del mundo a mi lado todos los días: ella. Mi inspiración y motivación siempre han sido y seguirán siendo ella, quien con su mirada encantadora, sonrisa mágica y dulce tono de voz detiene el tiempo para conversar y enseñarme a disfrutar de todo a mi alrededor, como una niña que mira con inmensa curiosidad y felicidad por primera vez. Desde su ejemplo, así es como siempre me guía, y yo no puedo más que rendirme a su encanto y seguir amándola, amándome, amándonos en esta vida espléndida que compartimos.

To **Glenn Steven Sandy**, my father, who with unconditional love has taught me to take care of myself, to protect myself, to be attentive to my own needs, as well as those of my mother and our family. He has instilled in me the conviction that, as a family, we are priority, the one true infinite constant.

A **Ricardo Orozco** y **Carlos Orozco**, mis hermanos, quienes con un amor inexplicable siempre me han abrazado, apoyándome incondicionalmente y mostrando gran atención hacia mí desde mis primeras giras de campo en Costa Rica hasta el día de hoy.

À **Ana Adelino**, que nos momentos mais desafiadores, especialmente no final do meu doutoramento, esteve ao meu lado, apoiando-me incondicionalmente e partilhando a sua sabedoria. Não existem palavras que possam descrever o nível de amor e carinho que recebi dela; levarei sempre no meu coração a sua bondade e generosidade.

A **Gabriela Sáenz**, quien con su maravillosa manera de contemplar la vida, ha impulsado en mí, siempre, la búsqueda de la belleza, inspirándome constantemente a dar lo mejor de mí.

A **Rocío Valverde**, quien con su ejemplo de vida, me llena de muchísima inspiración, motivándome a reconocer la magia de cada lugar y persona, siempre acompañándome con mucho amor y cariño.

A **Mario E. Barrantes**, a quien amaré por siempre.

AGRADECIMENTOS

*Desejo expressar o meu mais sincero agradecimento a **João Pedro Costa**, que me desafiou a candidatar-me ao doutoramento em Urbanismo, proporcionando-me uma experiência de vida fascinante e inesquecível. Muito obrigada!*

*A minha gratidão a **Jorge Cancela** por acreditar na maravilhosa e belíssima oportunidade que se nos apresentou em fevereiro de 2017, quando empreendemos conjuntamente o desenho do projeto Ponte Verde de Queluz. Além disso, agradeço-lhe profundamente por tudo o que aconteceu após ganharmos o concurso. Apesar de já estarmos imersos em quase dois anos académicos do doutoramento, não hesitámos em reestruturar a investigação para que este projeto se tornasse o caso de estudo. A possibilidade de participar desde o primeiro dia no processo de conceção até à aprovação do projeto de execução, e depois analisá-lo e avaliá-lo, representou uma oportunidade única e inigualável. Muito obrigada!*

*Agradeço profundamente a **Ana Adelino, Rosa Silvério, Sara Fernandes, António Batista, Sofia Casanova, Rui Freire, João Pedro Carvalho, Ana Jerónimo, Sandra Garcia e Elsa Marques**, por todos os momentos belos partilhados durante o processo de conceção e elaboração do projeto Ponte Verde de Queluz. Estarei eternamente grata pela amável, cordial e carinhosa atenção que sempre me dispensaram.*

*I extend my heartfelt gratitude to **Sandra MacFadyen, Joe White, Geethen Singh, Damaris Zurell, Bingrun Zhu (朱冰润), Federico Bolaños and Manuel Spínola**, whose inspiration and encouragement have spurred me to continue learning and growing in such challenging areas, compelling me to explore horizons far beyond my academic and professional sphere. I shall remain eternally grateful!*

*I express profound gratitude to the **Climate Analytics Group and NASA Ames Research Center** for providing the climate scenarios used in this research, sourced from the NEX-GDDP-CMIP6 dataset, made accessible through the collaborative initiative of the NASA Earth Exchange and distributed by the NASA Center for Climate Simulation (NCCS). Their contribution decisively expanded the scope of my doctoral investigation!*

*Agradezco profundamente a **Gema Ossenbach, Lorena Quevedo, Sandra Navarro, Mabel Cordero, Adriana Mora, Roberta Cusumano, Lisa Sánchez, Rosa Antunes, Miranda Orantes, Katherine Soto, Cristina Vargas, Raquel Salazar, Viviana Ortiz, Neuzelene Nascimento, Ana Margarida Gomes, Carol Araujo, Nadia Rodrigues, Bruna Ruschel, Víctor Hugo Acuña, Francisco Arana, Reinaldo Aguilar, Ronny Navarro, Álvaro Manso, Luis Cruz, Pablo Rodríguez, Tommaso Milazzo, Marco Malcotti, Rafael Bolaños, Robert Russell, Gerson Vargas y Mario Cardoso**, por estar siempre atentos a mí durante todo el proceso del doctorado, especialmente durante los últimos meses. ¡Muchísimas gracias!*

*Agradeço de todo o coração a **Sandra Pereira, Carlos Abobeira, Simão Abobeira, Rodrigo Abobeira, Maria Botelho Pereira e Ana Sofia Martins**, que me ofereceram o verdadeiro, autêntico e transparente amor de uma família portuguesa. Muito obrigada!*

*Agradeço profundamente a **Ana Paula Júlio, Paulo Correia, Alice Correia e Martim Correia**, por serem um exemplo de uma família cheia de compromisso, dedicação e amor. Muito obrigada!*

*Expresso a minha mais profunda gratidão aos excelentíssimos membros do júri, **Dra. Sofia Morgado, Dra. Angélica Benatti Alvim, Dr. Leonel Fadigas, Dr. José Miguel Lameiras, Dr. Pedro Miguel Arsénio e Dr. Jorge Cancela**, pela sua amável e cordial atenção durante o desenvolvimento das observações, questões e apreciações pertinentes na minha prova de doutoramento. Estarei eternamente grata!*

*Mi gratitud se extiende a mis apreciados equipos de **ENDÉMICA** Arquitectura del Paisaje S.A. y de la Fundación **QUÉ CIUDAD** por la inestimable inspiración y constante motivación que me brindaron a lo largo de esta investigación.*

Nuevamente, a todos, ¡muchísimas gracias!

endémica
arquitectura del paisaje



endémica
arquitectura del paisaje

ÍNDICE GENERAL

CAPA DA TESE	i
CONSTITUIÇÃO DO JÚRI	iii
RESUMEN.....	v
RESUMO	vii
DEDICATORIA.....	xiii
AGRADECIMIENTOS.....	xv
ÍNDICE GENERAL	xix
ÍNDICE DE FIGURAS	xxiii
ÍNDICE DE CUADROS	xxxi
LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS.....	xxxiii
1. PRESENTACIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Contextualización del Tema de Investigación.....	2
1.2 Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación	4
1.3 Objetivos y Preguntas de la Investigación	7
1.3.1 Objetivo y Pregunta General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos y Preguntas	7
1.4 Diseño de la Investigación	9
1.4.1 Método de abordaje.....	9
1.4.2 Métodos de Procesamiento - Medios Técnicos de la Investigación.....	14
1.4.3 Organización de la Investigación	16
2. EXPLORACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOS SDMS	19
2.1 Introducción	20
2.2 Modelos de Distribución de Especies (SDMs)	21
2.2.1 Teoría y Concepto.....	26
2.2.2 Construcción de los SDMs según Zurell (2020)	27
2.3 Cambio Climático Antropogénico y Biodiversidad	38

2.3.1 Cambios en los Rangos de Distribución, Composición y Abundancia	43
2.3.2 Escenarios de Emisiones, Concentración y Uso de la tierra.....	45
2.3.3 Conjunto de Datos NASA <i>Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections</i> (NEX-GDDP-CMIP6).....	51
2.3.4 Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2 (CESM2)	52
2.3.5 Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6 (MIROC6).....	54
2.4 <i>Google Earth Engine</i> (GEE) y Conjuntos de Datos a Escala Planetaria	55
2.4.1 Datos Medioambientales.....	57
2.4.2 Variables Bioclimáticas	58
2.4.3 Variables Medioambientales relacionadas con la Cobertura Terrestre	60
2.4.4 Variables Medioambientales relacionadas con la Cobertura Terrestre y los Factores Biogeoquímicos.....	61
2.4.5 Índices de Vegetación.....	62
2.4.6 Medida Acumulativa de la Modificación Humana de la Cobertura Terrestre	63
3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SDMS EN PE-PVQ.....	67
3.1 Introducción	68
3.2 Zona Especial de Protección del <i>Palacio Nacional de Queluz</i> (ZEP-PNQ).....	69
3.3 Proyecto Intermunicipal del <i>Eixo Verde e Azul do Rio Jamor</i> (EVA)	73
3.4 Concurso Público del Proyecto <i>Ponte Verde de Queluz</i> (PVQ).....	76
3.4.1 Conceptualización del Hábitat	81
3.4.2 Descripción del Hábitat Conceptualizado	83
3.5 Proyecto de Ejecución del <i>Ponte Verde de Queluz</i> (PE-PVQ).....	86
3.5.1 Localización y Características del Área de Estudio	86
3.5.2 Especies Autóctonas del Área de Estudio	87
3.6 Materiales y Métodos.....	88
3.6.1 Localización de las Especies	88
3.6.2 Variables Medioambientales	98
3.6.3 Escenarios de Cambio Climático CMIP6: <i>histórico</i> , SSP2-4.5 y SSP5-8.5	102

3.6.4 Modelización de la Distribución de las Especies Estudiadas.....	105
3.6.5 Evaluación de Modelo	108
3.6.6 Análisis Espacial.....	113
4. DESCRIPCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS EN PORTUGAL CONTINENTAL	115
4.1 Introducción	117
4.1.1 <i>Antirrhinum linkianum</i> Boiss. y Reut.	118
4.1.2 <i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch.....	120
4.1.3 <i>Cistus albidus</i> L.	122
4.1.4 <i>Cistus salviifolius</i> L	124
4.1.5 <i>Coronilla valentina subsp. glauca</i> (L.) Batt.....	126
4.1.6 <i>Gladiolus illyricus</i> W.D.J.Koch.....	128
4.1.7 <i>Helichrysum stoechas subsp. stoechas</i> (L.) Moench.....	130
4.1.8 <i>Lavandula stoechas</i> L.....	132
4.1.9 <i>Ophrys fusca</i> Link.....	134
4.1.10 <i>Orchis anthropophora</i> (L.) All.	136
4.1.11 <i>Orchis italica</i> Poir.....	138
4.1.12 <i>Paeonia broteroi</i> Boiss. y Reut.....	140
4.1.13 <i>Quercus coccifera</i> L.....	142
4.1.14 <i>Salvia rosmarinus</i> Spenn.....	144
4.1.15 <i>Salvia sclareoides</i> Brot.	146
4.1.16 <i>Teucrium fruticans</i> L.....	148
5. RESULTADOS, DISCUSIÓN, REPLICABILIDAD Y CONCLUSIONES	151
5.1 Resultados.....	153
5.2 Discusión	160
5.3 Replicabilidad	163
5.4 Conclusiones	164
BIBLIOGRAFIA.....	167
ANEXOS.....	189

Anexo I. Protocolo entre los <i>Municipios de Sintra, Amadora e Oeiras e Parque de Sintra-Montes da Lua, S.A.</i> , relativo a la creación del <i>EIXO VERDE E AZUL</i>	190
Anexo II. Programa Preliminar del <i>Concurso Público de Concepción Elaboração do Projeto PVQ</i> (n°930/2017 Portugal) lanzado por PSML, <i>Cámara Municipal de Sintra</i> , y la AOSRS.....	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del planteamiento, justificación y formulación del problema. Fuente: Adaptado de Quintana (2008). (Elaboración propia, 2016).	4
Figura 2. Diagrama sobre las etapas del método <i>hipotético-deductivo</i> . Fuente: Adaptado de Lakatos y Marconi (2007), Prodanov y Freitas (2013). (Elaboración propia, 2017).	12
Figura 3. Diagrama sobre las etapas del método <i>hipotético-deductivo</i> para la presente propuesta de investigación (Elaboración propia, 2018).	13
Figura 4. Representación esquemática del concepto de modelización de la distribución de especies. La correspondencia con la zona y el periodo de muestreo suele denominarse <i>interpolación</i> , mientras que la transferencia a otro periodo o zona geográfica se denomina <i>extrapolación</i> (Zurell, 2020).	25
Figura 5. Contexto a largo plazo del cambio climático antropogénico basado en reconstrucciones paleoclimáticas seleccionadas durante los últimos 800,000 años (800 kyr) para tres indicadores clave: (a) <i>Concentraciones atmosféricas de CO₂</i> , (b) <i>Temperatura media global de la superficie (Global Mean Surface Temperatura, GMST)</i> y (c) <i>Nivel medio global del mar (Global Mean Sea Level, GMSL)</i> (Chen <i>et al.</i> , 2021).	39
Figura 6. Una ilustración simplificada del proceso de generación de <i>escenarios</i> , en la que participan las comunidades científicas representadas en los tres WGs del IPCC. El conjunto circular de flechas en la parte superior indica el conjunto principal de modelos y flujos de trabajo utilizados en el proceso de generación de <i>escenarios</i> , con el nivel inferior indicando los conjuntos de datos (Chen <i>et al.</i> , 2021).....	41
Figura 7. Evolución de la ZEP-PNQ, donde se verifica el crecimiento de la presión de la construcción urbanística fuera de la zona envolvente (Falcão, 2015). La implementación de la ZEP-PNQ en sus tres versiones, de 1948, 1961 y 1968, aliada al hecho de que la mayor parte de los terrenos se encuentran en pose del Estado, permitieron, de alguna forma, contener la gran presión urbanística verificada en los últimos 50 años.....	70
Figura 8. Fotomontaje de la vista aérea del Plano Base del Plano Estratégico de Salvaguarda y Valorización del PNQ y su zona envolvente (Falcão, 2015).....	71
Figura 9. Punto E: nuevo puente sobre la autopista IC19 (punto de partida para la conceptualización del PVQ). Planta sobre la minimización del impacto de la autopista IC19 y de la fragmentación del territorio del Plano Base del Plano Estratégico de Salvaguarda y Valorización del PNQ y su zona envolvente. Escala 1:1000 (Falcão, 2015).....	72
Figura 10. Centralidad de las <i>Quintas de Queluz (Quinta Nova, Outeiro das Forçadas, Quinta da Rainha y Matinha de Queluz)</i> en la Estructura Ecológica asociada al Proyecto Intermunicipal EVA. En color anaranjado, el área de intervención del PVQ sobre la autopista IC19 (Cancela <i>et al.</i> , 2017; Elaboración propia, 2017).....	75

Figura 11. Plan General de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:2000 (Cancela <i>et al.</i> , 2017; Elaboración propia, 2017).	78
Figura 12. Detalle de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2017; Elaboración propia, 2017).	79
Figura 13. Visualización de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2017; Elaboración propia, 2017).	80
Figura 14. Corte transversal de la sección mayor de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:50 (Cancela <i>et al.</i> , 2017; Elaboración propia, 2017).	80
Figura 15. Hábitats conceptualizados en la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ, prados perennes (arriba en la izquierda), bosques secos y de baja altura (abajo en la izquierda) y áreas rupícolas (a la derecha) (BIOTA, 2017).	82
Figura 16. Tabla vegetal de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del hábitat proyectado en la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ (Cancela <i>et al.</i> , 2017).	85
Figura 17. (A) Ubicación del PE-PVQ en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	86
Figura 18. Especies del PE-PVQ, paisaje vegetal, objeto de estudio de la presente investigación (Elaboración propia, 2023).	87
Figura 19. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>A. linkianum</i> (68) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	89
Figura 20. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>C. longifolia</i> (112) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	89
Figura 21. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>C. albidus</i> (223) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía propia, 2020. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	90
Figura 22. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>C. salviifolius</i> (530) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Ana Júlia Pereira. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	90

Figura 23. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>C. valentina subsp. glauca</i> (80) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Cristina Estima Ramalho. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	91
Figura 24. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>F. lusitanica subsp. lusitanica</i> (8) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	91
Figura 25. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>G. Illyricus</i> (72) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Patrícia Pinto da Silva. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	92
Figura 26. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>H. stoechas subsp. stoechas</i> (91) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Ana Júlia Pereira. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	92
Figura 27. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>L. stoechas</i> (434) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	93
Figura 28. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>O. fusca</i> (106) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Elizabete Carmo-Silva. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	93
Figura 29. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>O. anthropophora</i> (217) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	94
Figura 30. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>O. italica</i> (148) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía propia, 2018. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	94
Figura 31. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>P. broteroi</i> (136) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).	95

Figura 32. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>Q. coccifera</i> (227) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Sergio Chozas. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).....	95
Figura 33. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>S. rosmarinus</i> (295) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).....	96
Figura 34. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>S. sclareoides</i> (88) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Paulo Ventura Araújo. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).....	96
Figura 35. (A) Registros únicos de ocurrencia de <i>T. fruticans</i> (57) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela <i>et al.</i> , 2020).....	97
Figura 36. (A) Datos de elevación, pendiente y orientación (Farr <i>et al.</i> , 2007). (B) 19 Variables bioclimáticas derivadas de temperaturas y precipitaciones estacionales, mensuales y anuales (Hijmans <i>et al.</i> , 2005). (C) Precipitación con datos de estaciones <i>in situ</i> (Funk <i>et al.</i> , 2015). (Elaboración propia, 2023).	100
Figura 37. (A) Diez variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre (Buchhorn <i>et al.</i> , 2020). (B) Siete variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre y los factores biogeoquímicos (Friedl y Sulla-Menashe, 2022). (C) Tres índices de vegetación (Didan y Barreto, 2018). (Elaboración propia, 2023).	100
Figura 38. (A) Una medida acumulativa de la modificación humana de la cobertura terrestre (Kennedy <i>et al.</i> , 2019). (Elaboración propia, 2023).....	101
Figura 39. Representación gráfica, línea de tiempo con los escenarios de cambio climático (<i>histórico</i> , SSP2-4.5 y SSP5-8.5) y los conjuntos de datos de las 44 variables medioambientales (Elaboración propia, 2023).	103
Figura 40. Temperatura media anual de CESM2 (Danabasoglu <i>et al.</i> , 2020), en la actualidad y en el año 2070. (A) Escenario <i>histórico</i> . (B) Escenario SSP2-4.5. (C) Escenario SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	104
Figura 41. Temperatura media anual del MIROC6 (Tatebe <i>et al.</i> , 2019), en la actualidad y en el año 2070. (A) Escenario <i>histórico</i> . (B) Escenario SSP2-4.5. (C) Escenario SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	104
Figura 42. (A) Puntos de color anaranjado representan los registros de ocurrencia de <i>C. longifolia</i> en Portugal continental. (B) Variables medioambientales (44). (C) Escenarios de cambio climático	

seleccionados del CMIP6: <i>histórico</i> , SSP2-4.5 y SSP5-8.5. (D) GCMs CMIP6 seleccionados (Elaboración propia, 2023).....	107
Figura 43. Visualización de resultados: Escenarios de cambio climático (<i>histórico</i> , SSP2-4.5 y SSP5-8.5) y GCMs con sus respectivos modelos SDMs actual y futuros para <i>C. longifolia</i> utilizando dos algoritmos de aprendizaje automático: MaxEnt y RF (Elaboración propia, 2023).....	107
Figura 44. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>A. linkianum</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	119
Figura 45. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>C. longifolia</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	121
Figura 46. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>C. albidus</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	123
Figura 47. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>C. salviifolius</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	125
Figura 48. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>C. valentina subsp. glauca</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	127
Figura 49. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>G. illyricus</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	129
Figura 50. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>H. stoechas subsp. stoechas</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	131
Figura 51. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>L. stoechas</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	133
Figura 52. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>O. fusca</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	135
Figura 53. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>O. anthropophora</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).....	137

Figura 54. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>O. italica</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023)	139
Figura 55. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>P. broteri</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	141
Figura 56. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>Q. coccifera</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	143
Figura 57. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>S. rosmarinus</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	145
Figura 58. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>S. sclareoides</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	147
Figura 59. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de <i>T. fruticans</i> en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).	149
Figura 60. <i>A. linkianum</i> , <i>C. longifolia</i> , y <i>Q. coccifera</i> con probabilidad de presencia para el rango de distribución actual en la CH Río Jabor y el PE-PVQ (Elaboración propia, 2023).	156
Figura 61. <i>A. linkianum</i> , <i>C. longifolia</i> , <i>Q. coccifera</i> , <i>S. rosmarinus</i> y <i>S. sclareoides</i> con probabilidad de presencia para el rango de distribución futuro en el año 2070 en la CH Río Jabor y el PE-PVQ (Elaboración propia, 2023).	156
Figura 62. Visualización aérea del PE-PVQ, dirección desde los jardines del PNQ, hacia la <i>Matinha de Queluz</i> , sobre la autopista IC19 (Elaboración propia, 2023).	157
Figura 63. Visualización del PE-PVQ en el año 2070, basada en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la cual destaca los posibles impactos de estos escenarios en el paisaje vegetal propuesto (Elaboración propia, 2023).	157
Figura 64. Visualización del PE-PVQ, dirección desde los jardines del PNQ, hacia la <i>Matinha de Queluz</i> , sobre la autopista IC19 (Elaboración propia, 2023).	158
Figura 65. Visualización del PE-PVQ en el año 2070, basada en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la cual destaca los posibles impactos de estos escenarios en el paisaje vegetal propuesto (Elaboración propia, 2023).	158
Figura 66. Visualización del PE-PVQ, dirección desde la <i>Matinha de Queluz</i> hacia los jardines del PNQ, sobre la autopista IC19 (Elaboración propia, 2023).	159

Figura 67. Visualización del PE-PVQ en el año 2070, basada en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la cual destaca los posibles impactos de estos escenarios en el paisaje vegetal propuesto (Elaboración propia, 2023).159

endémica
arquitectura del paisaje

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los métodos de investigación. Fuente: (Carvalho, 2009; Lakatos y Marconi, 2007; Prodanov y Freitas, 2013). (Elaboración propia, 2017).	10
Cuadro 2. Descripción de los métodos de procedimiento (medios técnicos) de la investigación. Fuente: (Deming y Swaffield, 2011; Farthing, 2016; Gerring, 2007; Gil, 2008; Groat y Wang, 2002; Macdonald y Tipton, 1993; Prodanov y Freitas, 2013; Yin, 2009). (Elaboración propia, 2017).	15
Cuadro 3. Descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del prado perenne. (Elaboración propia, 2017).	83
Cuadro 4. Descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del bosques secos y de baja altura (<i>tomilhal</i>). (Elaboración propia, 2017).	84
Cuadro 5. Descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización de la vegetación rupícola. (Elaboración propia, 2017).	84
Cuadro 6. Conjunto de datos de presencia de las especies validados por especialistas (Elaboración propia, 2023).....	88
Cuadro 7. Conjunto de datos con sus variables medioambientales, resolución espacial, y disponibilidad temporal (Elaboración propia, 2023).	99
Cuadro 8. Conjunto de datos NEX-GDDP-CMIP6 con sus variables medioambientales, GCMs y escenarios seleccionados, resolución espacial y disponibilidad temporal (Elaboración propia, 2023).	103
Cuadro 9. Evaluación del rendimiento de cada uno de los modelos CESM2 y MIROC6, la media (μ) entre estos, y la predicción en conjunto entre los dos algoritmos SDMs (μ prueba; μ entrenamiento) (Elaboración propia, 2023).....	109
Cuadro 10. Valor de idoneidad logística de las especies y del área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores al 0.5 (km ²) (Elaboración propia, 2023).....	154

endémica
arquitectura del paisaje

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AGCM *Modelo de Circulación General Atmosférica, (Atmospheric General Circulation Model).*

AMNH Museo Americano de Historia Natural (American Museum of Natural History)

ANN *Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Networks).*

AOGCMs *Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (Atmosphere-Ocean General Circulation Models).*

AORI *Instituto de Investigación de la Atmósfera y el Océano (Atmosphere and Ocean Research Institute).*

AOSRS *Ordem dos Arquitetos Secção Regional Sul*

API *Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface).*

AR5 *Quinto Informe de Evaluación del IPCC.*

AR6 IPCC *Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.*

ASI *Agencia Espacial Italiana (Agenzia Spaziale Italiana).*

ASTER *Radiómetro de Emisión y Reflexión Térmica Espacial Avanzado (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).*

AUC *Área bajo la curva de operación del receptor ROC (Area Under the Curve).*

BCSD *Corrección de Sesgo/Desagregación Espacial (Bias Correction/Spatial Disaggregation).*

BGC *BIOMA-Ciclos biogeoquímicos (BIOME-Biogeochemical Cycles).*

BIOTA *Biodiversity and Water Consultancy, Lda.*

CARTs *Árboles de Clasificación y Regresión (Classification And Regression Trees).*

CCD *Duración de Nubes Frías (Cold Cloud Duration).*

CCSM2 *Modelo del Sistema Climático de la Comunidad Versión 2 (Community Climate System Model Version 2).*

CCSM3 *Modelo del Sistema Climático de la Comunidad Versión 3 (Community Climate System Model Version 3).*

CCSM4 *Modelo del Sistema Climático de la Comunidad Versión 4 (Community Climate System Model Version 4).*

CCSR *Centro para la Investigación del Sistema Climático (Center for Climate System Research).*

CESM1 *Modelo del Sistema Terrestre de la Comunidad (Community Earth System Model).*

CESM2 *Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2 (Community Earth System Model Version 2).*

CGLS *Servicio Global de Cobertura del Suelo de Copernicus (Copernicus Global Land Service).*

CGLS-LC100 *Collection 3 Colección 3 del Servicio Global de Cobertura del Suelo de Copernicus (Copernicus Global Land Cover Layers Collection 3).*

CH Río Jamor *Cuenca Hidrográfica del Río Jamor.*

CHC *Centro de Riesgos Climáticos (Climate Hazards Center).*

CHIRPS *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station.*

CIAT *Centro Internacional de Agricultura Tropical (International Centre for Tropical Agriculture).*

CMIP *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (Coupled Model Intercomparison Project).*

CMIP6 *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6).*

COCO *Modelo de Componente Oceánico (Ocean Component Model).*

CORINE *Copernicus CORINE Land Cover.*

CRC-TREM *Centro de Investigación Cooperativa para la Ecología y Gestión de los Bosques Tropicales (Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management).*

CSM1 *Modelo del Sistema Climático, versión 1 (Climate System Model, version 1).*

CSP *Socios Científicos para la Conservación (Conservation Science Partners).*

DLR *Centro Aeroespacial Alemán (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt).*

DOD *Departamento de Defensa de los Estados Unidos (U.S. Department of Defense).*

EEA *Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency).*

EOS *Sistema de Observación de la Tierra (Earth Observation System).*

EROS *Centro de Observación y Ciencias de los Recursos Terrestres del USGS (Earth Resources Observation and Science (EROS) Center).*

EROS *Centro de Observación y Ciencias de los Recursos Terrestres (Earth Resources Observation and Science).*

ESA *Agencia Espacial Europea (European Space Agency).*

ESGF *Federación de Redes del Sistema Terrestre (Earth System Grid Federation).*

EVA *Proyecto Intermunicipal del Eixo Verde e Azul do Rio Jamor.*

EVI *Índice de vegetación mejorado (Enhanced Vegetation Index).*

EVI2 *Índice de vegetación mejorado-2 (Enhanced Vegetation Index-2).*

FAO *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization).*

FEWS NET *Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambrunas (Famine Early Warning Systems Network).*

GAM *Modelo Aditivo Generalizado (Generalized Additive Model).*

GBIF *Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (Global Biodiversity Information Facility).*

GCM *Modelo de Circulación General (General Circulation Model).*

GCMs *Modelos Climáticos Globales (Global Climate Models).*

GDEM2 *Modelo Global de Elevación Digital (Global Digital Elevation Model 2).*

GEE *Google Earth Engine.*

GEI *Gases de Efecto Invernadero.*

GEO *Grupo de Observación de la Tierra (Group for Earth Observation).*

gHM *Modificación Humana Global (Global Human Modification).*

GLM *Modelo Lineal Generalizado (Generalized Linear Model).*

GMSL *Nivel medio global del mar (Global Mean Sea Level).*

GMST *Temperatura media global de la superficie (Global Mean Surface Temperatura).*

GMTED *Conjunto de Datos de Elevación de Terreno de Resolución Múltiple Global (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data).*

GPMQ *Gran Parque Metropolitano de Queluz*

HDFS *Sistema de Archivos Distribuido (Distributed File System).*

IDE *Entorno de Desarrollo Interactivo (Interactive Development Environment).*

IGBP *Programa Internacional Geosfera-Biosfera (Geosphere-Biosphere Programme)*

IPBES *Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services).*

IPCC *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change).*

JAMSTEC *Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología de los Mares-Tierra (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology).*

JPL *Propulsión a Chorro de la NASA (NASA Jet Propulsion Laboratory).*

LAI *Índice de área foliar (Leaf Area Index).*

LCCS *Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (Land Cover Classification System).*

LP-DAAC *Centro de Archivos Activos Distribuidos de Procesos Terrestres (Land Processes Distributed Active Archive Center).*

MATSIRO *Modelo de Interacción Superficial y Escorrentía de Tratamientos Mínimos Avanzados (Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff).*

MaxEnt *Modelización de Entropía Máxima de Distribuciones Geográficas de Especies (Maximum Entropy Method (MaxEnt) for Modeling Species Geographic Distributions).*

MEA *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment).*

MIPs *Proyectos de Intercomparación de Modelos (Model Intercomparison Projects).*

MIROC6 *Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6 (Model for Interdisciplinary Climate Research 6).*

MLE *Método de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Estimation).*

MODIS *Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).*

NASA *Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration).*

NDVI *Índice de vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index).*

NED *Conjunto de Datos de Elevación Nacional (National Elevation Dataset).*

NEX *NASA Earth Exchange.*

NEX-GDDP-CMIP6 *Proyecciones Diarias Mundiales Desagregadas de la NASA (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections).*

NGA *Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (National Geospatial-Intelligence Agency).*

NIES *Instituto Nacional de Estudios Ambientales (National Institute for Environmental Studie).*

NOAA *Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los EEUU (National Oceanic and Atmospheric Administration).*

NPP *Asociación Suomi para la Órbita Polar Nacional (Suomi National Polar-orbiting Partnership, Suomi).*

OOB *Out-of-Bag.*

PE-PVQ *Proyecto de Ejecución del Ponte Verde de Queluz.*

PFT *Tipos funcionales de plantas (Plant Functional Types).*

PNQ *Palacio Nacional de Queluz.*

PROBA *Proyecto para la Autonomía a Bordo (Project for On-Board Autonomy).*

PSML *Parques de Sintra - Montes da Lua, S.A.*

PVQ *Ponte Verde de Queluz.*

RF *Random Forest.*

ROC *Curva de operación del receptor (Receiver Operating Characteristic).*

ScenarioMIP *Proyecto de Intercomparación de Modelos de Escenarios (Scenario Model Intercomparison Project).*

SDMs *Modelos de Distribución de Especies (Species Distribution Models).*

SIG *Sistemas de Información Geográfica.*

SRCLL *Cambio Climático y Tierra (Climate Change and Land).*

SROCC *Océano y la Criósfera en un Clima Cambiante (Ocean and Cryosphere in a Changing Climate).*

SRTM *Misión de Topografía Radar del Transbordador (Shuttle Radar Topography Mission).*

SSPs *Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways).*

STS-99 *Transbordador Espacial Endeavour (Space Shuttle Endeavour).*

TI *Tecnología de la Información.*

TRIP *Modelo para la Integración de Trayectorias de Escorrentía Total (Total Runoff Integrating Pathways).*

UC Berkeley *Universidad de California-Berkeley.*

UMD *Universidad de Maryland (University of Maryland).*

USAID *Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (U.S. Agency for International Development).*

USGS *Servicio Geológico de EEUU (U.S. Geological Survey).*

VIIRS *Serie de Radiómetros de Imágenes Infrarrojas y Visibles (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite).*

VNP13A1 *Suomi National Polar-Orbiting Partnership (S-NPP) NASA Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Vegetation Indices.*

WG *Grupo de Trabajo (Working Group).*

ZEP-PNQ *Zona Especial de Protección del Palacio Nacional de Queluz*

endémica
arquitectura del paisaje



Ilustração em Aquarela

Catálogo das Espécies Nativas Portuguesas


Autora: Alejandra M. Orozco Meza

Título Original: 'Geropogon hybridus (L.) Sch.Bip.; Habitat na Lusitânia'

Geropogon hybridus (L.) Sch.Bip. In: Webb & Berthel., Phyt. Canar. 2: 472. (1850).

Data Original: Fevereiro de 2021; Lisboa, Portugal

Dimensões: 41.9 x 56.10"



[1.]

PRESENTACIÓN
GENERAL DE LA
INVESTIGACIÓN

1.1 Contextualización del Tema de Investigación

Los *Modelos de Distribución de Especies* (*Species Distribution Models*, SDMs) han adquirido una creciente influencia como herramientas esenciales para la gestión de la biodiversidad y la comprensión de los efectos del cambio climático en los ecosistemas (Elith *et al.*, 2006; Elith y Leathwick, 2009; Franklin, 2010; Peterson *et al.*, 2011; Guisan *et al.*, 2013; Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017; Mateo *et al.*, 2019; Pollock *et al.*, 2020). Estos modelos ofrecen información valiosa al estimar la relación entre los registros de especies y las características ambientales y espaciales de los sitios (Loiselle *et al.*, 2003; Franklin, 2010; Araújo *et al.*, 2019; La Marca *et al.*, 2019; Brun *et al.*, 2020; Helmstetter *et al.*, 2021). Como resultado, se han convertido en la metodología predominante para evaluar el impacto del cambio global y proyectar desplazamientos futuros en la distribución de especies (Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas [IPBES], 2016).

De manera concomitante, el *Sexto Informe de Evaluación* (*Sixth Assessment Report*, AR6) del *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático* (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) marca más de tres décadas de colaboración global en la descripción y comprensión del cambio climático antropogénico, uno de los desafíos fundamentales del siglo XXI (Chen *et al.*, 2021).

En el contexto actual, enfrentamos la convergencia de desafíos interrelacionados como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, incluyendo la sexta extinción masiva de especies (Steffen, Crutzen, y McNeill, 2007; Ceballos *et al.*, 2017). El AR6 IPCC examina los *Modelos de Ecosistemas y Biodiversidad* en relación a la *Adaptación*, considerando impactos a nivel de especies, incluyendo la distribución de las mismas (Chen *et al.*, 2021). Comprender la interacción entre cambio climático y biodiversidad es crucial, ya que los efectos abarcan no solo el cambio climático en sí, sino también la reducción de especies y su reducción en tamaño poblacional y rango de distribución (Hoegh-Guldberg y Bruno, 2010; Ceballos *et al.*, 2017; IPBES, 2019).

En este contexto, surge el interés por la presente investigación, que se enfoca en explorar la viabilidad de los SDMs en el ámbito del ordenamiento del territorio, centrándose en el Proyecto de Ejecución del *Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ) en Sintra, Portugal. El PE-PVQ, alineado con la estrategia del Proyecto Intermunicipal del *Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA), tiene como objetivo la consolidación de un eje ecológico a lo largo del Río Jamor en los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora. Este proyecto es crucial para la restauración del hábitat regional y la conexión entre los jardines del *Palacio Nacional de Queluz* (PNQ) y la *Matinha de Queluz* sobre la autopista IC19 (Cancela *et al.*, 2017, 2018, 2019, 2020).

La investigación busca desarrollar SDMs para predecir los hábitats actuales y proyectar los hábitats futuros de 17 especies vegetales autóctonas propuestas en el contexto del PE-PVQ. Este análisis integral se apoya en dos de los cuatro escenarios prioritarios definidos en el AR6 IPCC, pertenecientes al marco de los *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) del siglo XXI de Nivel 1: SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para el año 2070; en el escenario *histórico* proveniente del *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6* (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*, CMIP6); en dos *Modelos Climáticos Globales* (GCMs): *Community Earth System Model Version 2* (CESM2) y *Model for Interdisciplinary Climate Research 6* (MIROC6); y en dos algoritmos de aprendizaje automático: MaxEnt y *Random Forest*.

El resultado final no solo enriquecerá el conocimiento científico en ecología y cambio climático, sino que también proporcionará orientación concreta para la toma de decisiones en la gestión de la biodiversidad y la planificación urbana en un contexto en constante evolución.

En conclusión, la presente investigación no solo representa un aporte innovador al emplear información del AR6 IPCC en un proyecto urbano, sino que también se sitúa en la vanguardia de los esfuerzos por comprender y abordar los desafíos del cambio climático y la conservación de la biodiversidad en un contexto urbano. La aplicación de SDMs y la integración de estos hallazgos en la planificación estratégica pueden tener un impacto significativo tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional, contribuyendo a la construcción de comunidades más resilientes y sostenibles en el contexto del cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

1.2 Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación

La definición del problema que se origina en la presente investigación se desarrolla mediante una argumentación lógica enmarcada en los datos y conceptos aceptados por la comunidad científica. Se sustenta en información previamente recopilada de citas bibliográficas que involucran reflexiones teóricas o teórico-empíricas relacionadas con la temática de interés. Esta postura se encuentra respaldada por Farthing (2016) y Quintana (2008), quienes resaltan la importancia de revisar las conceptualizaciones teóricas propuestas por investigadores y académicos distinguidos. Estos estudiosos han presentado sus ideas en artículos científicos, revistas académicas y libros especializados, siendo reconocidos por la comunidad académica y científica en el campo de estudio.

A continuación, se muestra un diagrama que representa el planteamiento y la formulación del problema según lo propuesto por Quintana (2008), que sirve de fundamento para la presente investigación (véase Figura 1).



Figura 1. Diagrama del planteamiento, justificación y formulación del problema. Fuente: Adaptado de Quintana (2008).
(Elaboración propia, 2016).

La presente investigación se centra en el desarrollo y aplicación de SDMs, con el propósito de abordar la apremiante necesidad de comprender la interacción entre el cambio climático y la biodiversidad. Esto se lograría mediante la predicción de los hábitats actuales y la proyección de los hábitats futuros de especies vegetales en el marco del PE-PVQ en Sintra, Portugal. Según el AR6 IPCC y otros estudios relevantes, se concluye de manera inequívoca que las especies terrestres han experimentado modificaciones en sus rangos de distribución, composición y abundancia debido al cambio climático antropogénico en las últimas décadas (Lenoir *et al.*, 2008; Harsch *et al.*, 2009; Dornelas *et al.*, 2014; Lenoir y Svenning, 2015; Gibson-Reinemer *et al.*, 2015; Evans y Brown, 2017; Pecl *et al.*, 2017; Dornelas *et al.*, 2019; IPCC, 2019a; IPCC, 2019b; Chen *et al.*, 2021).

Esta iniciativa surge de la necesidad de comprender cómo los cambios climáticos y ecológicos pueden influir en la distribución de 17 especies vegetales autóctonas en Portugal continental. Además, se examina cómo esta comprensión puede contribuir a la conservación y restauración del paisaje vegetal en áreas urbanas específicas, como los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, en el contexto del Proyecto Intermunicipal EVA, en particular en el marco del PE-PVQ.

Aunque se ha demostrado que muchas especies terrestres han experimentado desplazamientos hacia latitudes más elevadas de aproximadamente 17 (± 3) kilómetros por década y hacia altitudes superiores de 11 (± 2) metros por década desde mediados del siglo XX (Rumpf *et al.*, 2018), es importante considerar que estas *respuestas al calentamiento climático antropogénico* podrían estar siendo sobrestimadas debido a que los gradientes espaciales reflejan procesos de largo plazo (Elmendorf *et al.*, 2015). Además, se debe tener en cuenta que ni las ciudades ni las áreas silvestres protegidas, ni ningún punto intermedio, podrán mantenerse de manera sostenible si no se aborda la sostenibilidad de todo el paisaje en el cual se insertan (Meine, 2014).

Mediante los Objetivos y Preguntas establecidos, esta investigación busca llenar las lagunas en el conocimiento actual relacionadas con la aplicación de SDMs en la conservación y restauración de la biodiversidad urbana, la modelización de hábitats en paisajes urbanos y la identificación de especies resilientes al cambio climático antropogénico en entornos urbanos.

Los resultados de esta investigación pueden tener un impacto multifacético. En primer lugar, al desarrollar y aplicar SDMs en el contexto del PE-PVQ, se proporcionará información valiosa para la toma de decisiones en la planificación territorial y la ejecución de proyectos de restauración ecológica en áreas urbanas específicas. Esto permitirá una gestión más efectiva y sostenible de los paisajes vegetales en el contexto del cambio climático antropogénico y la pérdida de diversidad biológica. En segundo lugar, al explorar y describir la metodología de los SDMs y aplicarla en un contexto real, se espera contribuir al conocimiento en ecología cuantitativa y en la aplicación de herramientas de modelización en la conservación y restauración de la biodiversidad urbana. Esto puede tener implicaciones más allá del contexto específico de esta investigación, ayudando a otros científicos y profesionales a abordar problemas similares en otros entornos urbanos. En tercer lugar, al detallar la cartografía de las especies estudiadas y presentar los mapas de distribución actuales y futuros, esta investigación podría proporcionar información clave sobre la idoneidad de los hábitats y la resiliencia de las especies al cambio climático. Esto podría influir directamente en la toma de decisiones relacionadas con la conservación y restauración de los paisajes vegetales en áreas urbanas específicas.

En resumen, esta investigación busca llenar las lagunas en el conocimiento actual mediante la aplicación de SDMs para predecir los hábitats actuales y proyectar los hábitats futuros de especies vegetales en el marco del PE-PVQ. Los resultados podrían tener un impacto significativo en la toma de decisiones en la planificación urbana, la gestión de la biodiversidad y la restauración ecológica, al mismo tiempo que demuestran la utilidad de esta metodología como una herramienta escalable y replicable para abordar los desafíos del cambio climático y la pérdida de diversidad biológica en áreas urbanas.

1.3 Objetivos y Preguntas de la Investigación

“Research can be seen as a process of asking questions, and trying to answer them. Research questions are important because they provide a focus and a direction to research, influencing the other design decisions which you make, from identifying the type of data you need to answer your question to the best way of going about getting it. It follows that one of the most important stages in research design is moving from the initial ideas you have about topic and the issue you want to investigate to an appropriate research question” (Farthing, 2016, p. 3).

1.3.1 Objetivo y Pregunta General

El objetivo general de esta investigación es desarrollar y aplicar *Modelos de Distribución de Especies* (SDMs) para predecir el hábitat actual y proyectar los hábitats futuros de 17 especies vegetales autóctonas propuestas en el contexto del Proyecto de Ejecución del *Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ) en Sintra, Portugal.

Esta investigación busca comprender: *¿Cómo la interpretación y descripción parcial de los hábitats actuales y futuros, considerando escenarios de cambio climático, pueden concretizar acciones para la conservación y restauración del paisaje vegetal en contextos urbanos?* Específicamente, en las ciudades de Sintra, Oeiras y Amadora, en el marco del Proyecto Intermunicipal del *Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA), y particularmente, en el PE-PVQ.

1.3.2 Objetivos Específicos y Preguntas

1. Explorar y describir la metodología de los SDMs, destacando su importancia en el ámbito de la ecología cuantitativa y su aplicación en evaluaciones de impacto del cambio global.

Mediante este primer objetivo, se busca comprender: *¿Cuál es la relevancia y aplicabilidad de los SDMs en el ámbito de la conservación y restauración de la biodiversidad?*

2. Aplicar la metodología de los SDMs en el contexto del PE-PVQ, utilizando dos *Modelos Climáticos Globales* (GCMs): *Community Earth System Model Version 2* (CESM2) y *Model for Interdisciplinary Climate Research 6* (MIROC6), junto con el escenario *histórico* y dos escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Mediante este segundo objetivo, se busca comprender: *¿Cuáles son las fases fundamentales de la modelización de los SDMs y cómo se integran en el proceso de análisis de distribución de especies?, y ¿Cómo se puede aplicar la metodología de los SDMs para predecir el hábitat actual y proyectar los hábitats futuros de 17 especies vegetales autóctonas propuestas en el contexto del PE-PVQ?*

3. Detallar la cartografía de las especies estudiadas en Portugal Continental, presentando los mapas de distribución actual y futura a una resolución espacial de 750 metros, para conocer la idoneidad de los hábitats mediante valores logísticos y determinar las especies resilientes al cambio climático en el contexto del PE-PVQ.

Mediante este tercer objetivo, se busca comprender: *¿Qué herramientas y marcos de investigación multidimensionales, sistemas y recursos informáticos, se pueden utilizar para identificar y monitorear con precisión las variaciones en el paisaje vegetal, considerando el cambio climático y otras perturbaciones antropogénicas?*

En resumen, esta investigación tiene como objetivo principal el desarrollo de herramientas de SDMs para predecir el hábitat actual y proyectar los hábitats futuros de especies vegetales en el marco del PE-PVQ. A través de esta metodología, se pretende entender cómo los cambios climáticos pueden influir en la distribución de las especies y cómo estos conocimientos pueden contribuir a la conservación y restauración del paisaje vegetal en áreas urbanas específicas. La aplicación de SDMs y la evaluación de las especies resilientes al cambio climático en el PE-PVQ proporcionarán información valiosa para la toma de decisiones en el ordenamiento del territorio y la planificación de proyectos de restauración ecológica. Además, se busca demostrar la utilidad de esta metodología como una herramienta replicable, escalable y de fácil comprensión para gestionar el paisaje vegetal en el contexto del cambio climático antropogénico y la pérdida de la diversidad biológica.

1.4 Diseño de la Investigación

1.4.1 Método de abordaje

Prodanov y Freitas (2013) sostienen que el método se define como un procedimiento o camino destinado a alcanzar un determinado objetivo específico, mientras que la esencia de la ciencia radica en la búsqueda del conocimiento. Por lo tanto, señalan que el *método científico* se compone de un conjunto de procedimientos adaptados con el propósito fundamental de adquirir conocimiento. Los métodos de enfoque generales proporcionan al investigador pautas genéricas que permiten diferenciar entre objetivos de índole científico y aquellos que no lo son (véase Cuadro 1). Estos métodos proveen las bases y procedimientos lógicos para llevar a cabo investigaciones científicas sobre fenómenos naturales y sociales. Dichos métodos determinan la amplitud de la investigación, establecen reglas para la explicación de los fenómenos y evalúan la validez de su divulgación (Carvalho, 2009; Prodanov y Freitas, 2013).

El método *hipotético-deductivo* es ampliamente aceptado, especialmente en el ámbito de las ciencias naturales y sociales (Prodanov y Freitas, 2013). En *círculos neopositivistas*, este método es incluso considerado como el único en poseer una estructura lógica rigurosa (Gil, 2008). En el presente estudio, se ha optado por adoptar los principios de este método, clasificando la investigación como *aplicada*. En este enfoque, se busca generar conocimiento con aplicaciones prácticas dirigidas a la solución de problemas identificados.

Cuadro 1. Descripción de los métodos de investigación. Fuente: (Carvalho, 2009; Lakatos y Marconi, 2007; Prodanov y Freitas, 2013). (Elaboración propia, 2017).

MÉTODO	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	
Deductivo	Prueba que un fenómeno debe ser (Principios, Leyes y Teorías generales– Particulares)	Procura transformar enunciados complejos y universales en particulares, con una o varias premisas. De acuerdo con el entendimiento clásico, este parte de lo general a lo particular. Parte de principios, leyes y teoría consideradas verdaderas e indiscutibles para predecir la ocurrencia de fenómenos particulares con base en la lógica.
Inductivo	Muestra que algún fenómeno es realmente operativo (Particular – Principios, Leyes y Teorías generales)	Parte de un fenómeno para llegar a un principio, ley o teoría general por medio de la observación y experimentación, dirigiendo la investigación a descubrir entre dos fenómenos las relaciones existentes entre los mismos y generalizarlos. Este método procede inversamente del deductivo.
Hipotético-deductivo	Sugiere que algún fenómeno puede ser (Hipótesis)	Se inicia por la prospección de un vacío en el conocimiento, acerca del cual se formula la hipótesis. El proceso de inferencia deductiva, comprueba la predicción de la ocurrencia de fenómenos descritos por la hipótesis. O sea, la ciencia tiene su punto de partida en los problemas que el investigador identifica, los cuales son el resultado de diferencias entre las expectativas y lo que él observa en la realidad.
Dialéctico	Propone que los fenómenos u objetos existen como un todo, ligados entre sí, dependientes unos de los otros	Parte de la premisa de que, en la naturaleza, todo se relaciona, se transforma y hay siempre contradicciones orgánicamente unidas e insolubles inherentes a cada fenómeno. Para conocer determinado fenómeno u objeto, el investigador precisa estudiarlo en todos sus aspectos, relaciones y conexiones, sin tratar el conocimiento como algo rígido, ya que todo en el mundo está siempre en constante mudanza y siempre en vías de transformarse, donde el fin de un proceso es el comienzo de otro.
Fenomenológico	Avanza para los propios datos y fenómenos, aquello que es visto frente de la conciencia	Se limita a los aspectos esenciales e intrínsecos del dato y fenómeno, sin lanzar deducciones o empirismos, buscando comprenderlo por medio de la intuición, sin importar su naturaleza real o ficticia. Consecuentemente, tiene una tendencia orientada totalmente al objeto.

Popper (1977, citado en Carvalho, 2009) defendía la tesis de que la ciencia comienza y termina con problemas. Según su enfoque, el proceso inicia con la identificación de un *problema*, seguido de la proposición de una *solución tentativa* o una *teoría tentativa*. A continuación, se somete la *solución tentativa* a un escrutinio crítico con el objetivo de la *eliminación del error*. Por último, este proceso se renueva a sí mismo, generando así *nuevos problemas* para su abordaje. En consecuencia, Popper consideraba que el enfoque del método de investigación *hipotético-deductivo* era el más idóneo en el contexto de la investigación científica, indicando lo siguiente:

"Cuando los conocimientos disponibles sobre determinado asunto son insuficientes para la explicación de un fenómeno, surge el problema. Para intentar explicar las dificultades expresas en el problema, son formuladas suposiciones o hipótesis. De las hipótesis formuladas, se deducen consecuencias que deberán ser aprobadas o reprobadas. Reprobar significa reconsiderar falsas las consecuencias deducidas de la hipótesis. En cuanto en el método deductivo se procura a todo costo confirmar la hipótesis, en el método hipotético-deductivo, al contrario, se procura evidencias empíricas para derrumbarla" (s.p.; traducción propia).

En la actualidad, el método *hipotético-deductivo* se comprende como un enfoque que se inicia con la formulación de un *problema* o *vacío de conocimiento científico*. La descripción precisa y clara de dicho *problema* es esencial para facilitar la creación de un *modelo teórico* y la identificación de otros conocimientos e instrumentos relevantes para abordar el *problema*. Después de este *estudio preparatorio*, se ingresa a la fase de *observación*, donde se pone a prueba el modelo teórico propuesto. El siguiente paso consiste en la formulación de *hipótesis* o *descripciones tentativas* que se derivan de lo observado. Estas *hipótesis* se emplean para realizar pronósticos que luego serán sometidos a *pruebas, experimentos* u *observaciones* más detalladas (este proceso de *inferencia deductiva* busca verificar si se cumplen las predicciones de los fenómenos planteadas en las hipótesis). En función de los *resultados* obtenidos, las *hipótesis* pueden ser ajustadas, dando origen a un nuevo ciclo. Este *proceso de ajuste y validación* se repite hasta que no haya discrepancias entre la *teoría* o el *modelo simplificado* y los resultados de los *experimentos y/o observaciones* (Prodanov y Freitas, 2013).

A continuación, se presentan dos diagramas. El primero abarca las etapas del método *hipotético-deductivo* (véase Figura 2), mientras que el segundo muestra su adaptación para la presente investigación (véase Figura 3).

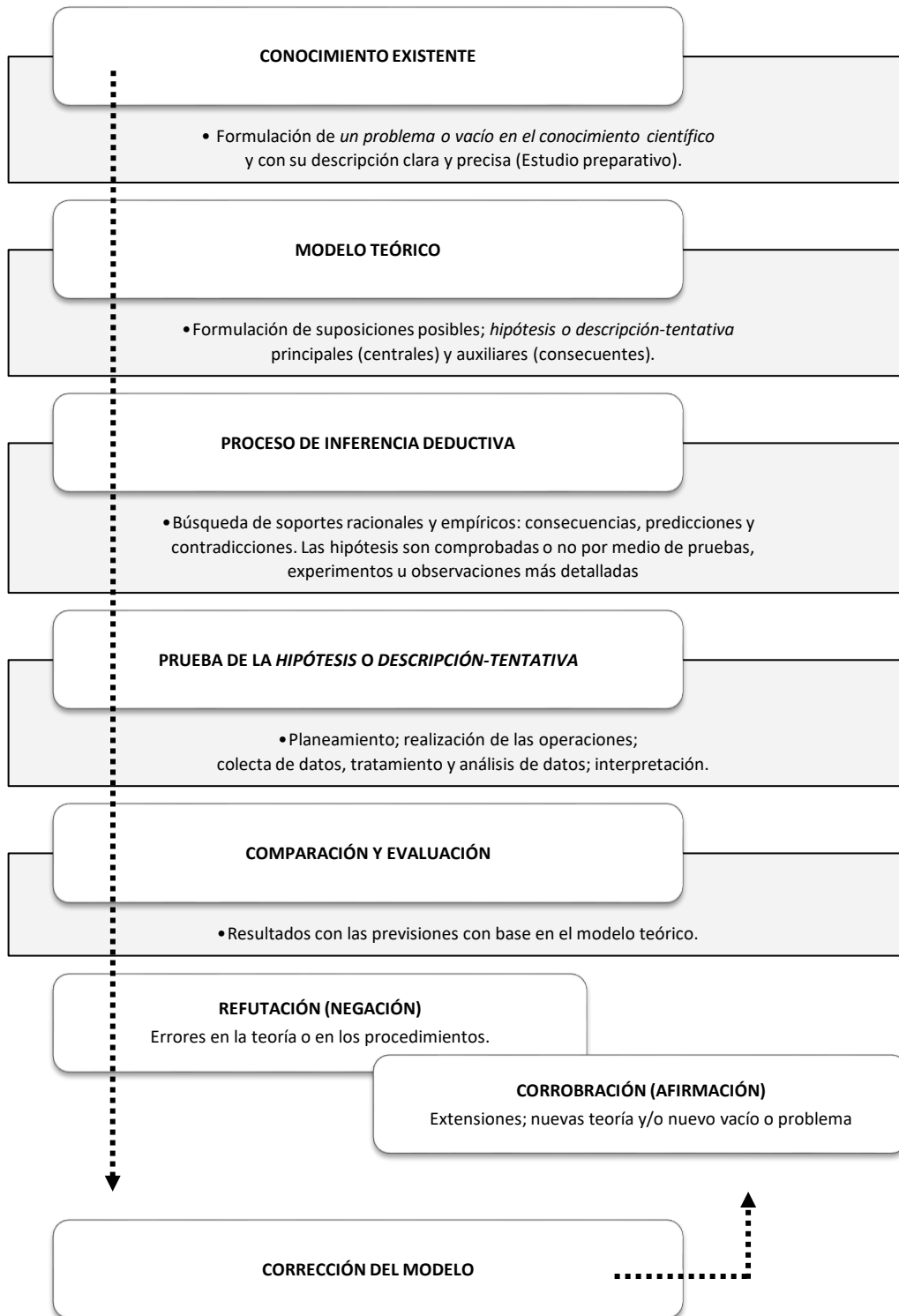


Figura 2. Diagrama sobre las etapas del método *hipotético-deductivo*. Fuente: Adaptado de Lakatos y Marconi (2007), Prodanov y Freitas (2013). (Elaboración propia, 2017).

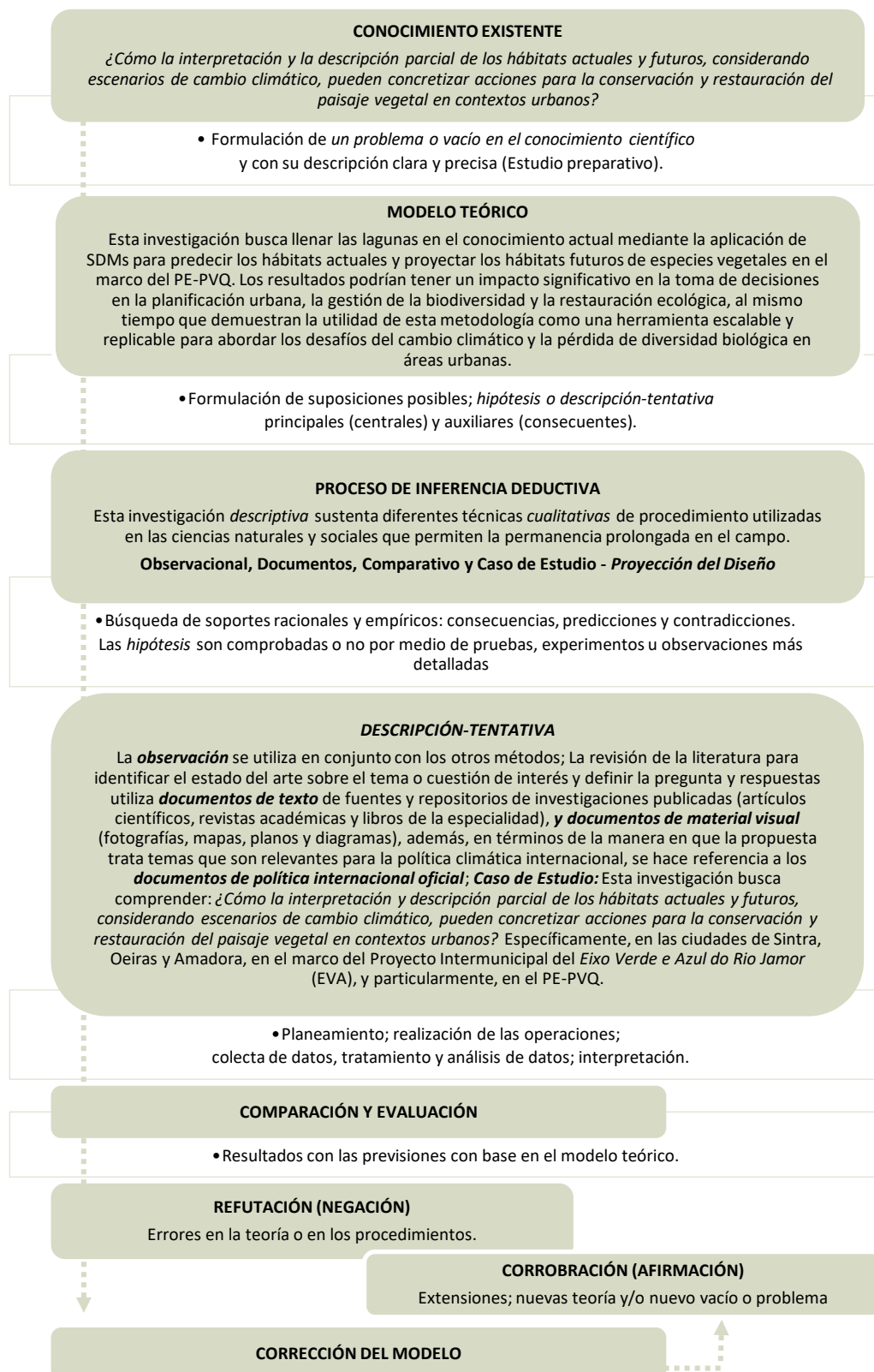


Figura 3. Diagrama sobre las etapas del método *hipotético-deductivo* para la presente propuesta de investigación (Elaboración propia, 2018).

1.4.2 Métodos de Procesamiento - Medios Técnicos de la Investigación

A diferencia de los métodos de abordaje, los métodos de procedimiento (medios técnicos que aseguran la objetividad y precisión en el estudio) representan las etapas de la investigación. Estos medios técnicos seleccionados definen los procesos a seguir, tanto en la recolección de datos e información como en el análisis. Por lo tanto, es posible utilizar y/o combinar varios métodos, adaptándolos de manera rigurosa o exclusiva a lo largo del desarrollo de la investigación (Gil, 2008; Prodanov y Freitas, 2013). Cada uno de los enfoques de los diversos métodos aplicados en las ciencias naturales, humanidades, ciencias sociales y artes creativas conlleva suposiciones e implicaciones distintas acerca de cómo se origina, codifica y valida el conocimiento, así como percepciones diversas acerca de cómo se define y construye la teoría (Deming y Swaffield, 2011).

La presente investigación *descriptiva* busca "*exponer las características de una determinada población o fenómeno, requiriendo técnicas estandarizadas de recolección de datos*" (Prodanov y Freitas, 2013, p. 127; *traducción propia*). Sin limitarse a ello, tiene como objetivo la predicción e identificación de las relaciones entre dos o más variables del fenómeno (Prodanov y Freitas, 2013). Este enfoque sustenta diversas formas de expresar el conocimiento en términos conceptuales e investigativos mediante técnicas *cualitativas*, las cuales reconocen que "*el ambiente natural es una fuente directa para la recolección de datos, la interpretación de fenómenos y la atribución de significados*" (Prodanov y Freitas, 2013, p. 128; *traducción propia*). Estas técnicas de procedimiento, utilizadas tanto en las ciencias naturales como en las sociales, permiten una inmersión prolongada en el campo (véase Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los métodos de procedimiento (medios técnicos) de la investigación. Fuente: (Deming y Swaffield, 2011; Farthing, 2016; Gerring, 2007; Gil, 2008; Groat y Wang, 2002; Macdonald y Tipton, 1993; Prodanov y Freitas, 2013; Yin, 2009). (Elaboración propia, 2017).

MÉTODO	DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROCESAMIENTO (MEDIOS TÉCNICOS) DE LA INVESTIGACIÓN	
Observacional	Observa el fenómeno que acontece o aconteció	"puede ser considerado como el más primitivo y, consecuentemente, el más impreciso. Pero, por otro lado, puede ser comprendido como uno de los más modernos, al ser el que posibilita el más elevado grado de precisión en las ciencias sociales" (Gil, 2008, p. 16; <i>traducción propia</i>). Se puede resaltar que existen investigaciones en las ciencias sociales que utilizan este método de manera exclusiva, otras lo utilizan en conjunto con otros métodos, por tanto, cualquier investigación en ciencias sociales debe valerse, en más de un momento, del procedimiento de la observación (Prodanov y Freitas, 2013).
Documentos	No es usar los documentos sino el uso de los documentos para generar datos	"cosas que podemos leer y que se relacionan con aspectos del mundo social" (Macdonald y Tipton, 1993, s.p.; <i>traducción propia</i>). Todos los estudios utilizan documentos de una forma u otra. Obviamente, una revisión de la literatura utilizará documentos (artículos, capítulos de libros, por ejemplo) para identificar el estado del conocimiento sobre el tema o cuestión de interés y definir la naturaleza de la pregunta de investigación como respuestas en la investigación (Farthing, 2016).
Comparativo	Explica fenómenos deduciendo contrastes, abstractos, y generalidades	"consiste en la investigación de individuos, clases, fenómenos o hechos, con el fin de resaltar las diferencias y similitudes entre ellos. Su amplio uso en las ciencias sociales se debe a que permite estudiar comparativamente grandes grupos sociales, separados en el espacio y en el tiempo" (Gil, 2008, p. 16; <i>traducción propia</i>). Al dar explicación de los fenómenos, permite analizar el dato concreto, deduciendo elementos de contraste, abstractos, y/o generales en los mismos, con el objetivo de verificar semejanzas y explicar divergencias (Prodanov y Freitas, 2013).
Caso de Estudio	Particularmente útiles cuando no hay límites claros entre el foco de la investigación y el contexto	"investigación empírica que examina un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto de vida real, especialmente cuando los límites entre el objeto de estudio y el contexto no están claramente definidos" (Yin, 2009, p. 18; <i>traducción propia</i>).
	Proyección del Diseño (Tipo de Caso de Estudio)	Casos teóricos, que se imaginan (escenarios de diseño), y que proporcionan una forma de prueba y desafío a las presuposiciones y relaciones (Gerring, 2007). La investigación de diseño tiene un gran potencial para abordar los criterios establecidos de calidad de la investigación, durante el proceso de diseño, pueden ser considerados como estrategias operativas, interpretativas o reflexivas; Si se considera sistemática y estructural, se puede aplicar la metáfora del diseño experimental (Deming y Swaffield, 2011).
	Proyección del Diseño: como estrategia operativa (Diseño Generativo)	Se considera un proceso esencialmente subjetivo (intuitivo) relacionado con la producción artística, y más proposiciones analíticas (Groat y Wang, 2002). Los diseñadores de las disciplinas de arquitectura del paisaje y la planificación urbana, suelen utilizar la investigación como métodos, técnicas y terminología: <i>observar, describir, medir, contar, organizar, categorizar, probar, descubrir, buscar influencia, evaluar, diagnosticar, entender</i> - todos estos con el fin de encuadrar y/o responder, en parte o en su totalidad, al problema (Deming y Swaffield, 2011).

1.4.3 Organización de la Investigación

En secuencia con lo anterior, este documento se organiza en cinco partes. A continuación, una breve descripción de estas partes:

1. En la **I Parte: Presentación General de la Investigación**, se exponen los siguientes ítems: Contextualización del Tema de Investigación; Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación; Objetivos (General y Específicos) y Preguntas; Diseño de la Investigación (Método de Abordaje; Métodos de Procesamiento - Medios Técnicos; y Organización).
2. En la **II Parte: Exploración de la Metodología de los SDMs**, se exponen los siguientes ítems: Introducción a la Relevancia y Replicabilidad de los SDMs; SDMs (Teoría y Concepto; Construcción de los SDMs según Zurell (2020)); Cambio Climático Antropogénico y Biodiversidad (Cambios en los Rangos de Distribución, Composición y Abundancia; Escenarios de Emisiones, Concentración y Uso de la Tierra; Conjunto de Datos NEX-GDDP-CMIP6); CESM2; MIROC6; *Google Earth Engine* (GEE) y Conjunto de Datos a Escala Planetaria (Datos Medioambientales; Variables Bioclimáticas; Variables Medioambientales relacionadas con la Cobertura Terrestre; Variables Medioambientales relacionadas con la Cobertura Terrestre y los Factores Biogeoquímicos; Índices de Vegetación; y Medida Acumulativa de la Modificación Humana de la Cobertura Terrestre).
3. En la **III Parte: Aplicación de la Metodología de SDMs**, se exponen los siguientes ítems: Introducción a la aplicación de SDMs en el PE-PVQ; Zona Especial de Protección del *Palacio Nacional de Queluz* (ZEP-PNQ); Proyecto Intermunicipal EVA; Concurso Público del Proyecto PVQ (Conceptualización del Hábitat; Descripción del Hábitat Conceptualizado); PE-PVQ (Localización y Características del Área de Estudio; Especies Autóctonas del Área de Estudio); Materiales y Métodos (Localización de las Especies; Variables Medioambientales; Escenarios de Cambio Climático CMIP6, *histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5; Modelización de la Distribución de la Especie Estudiadas; Evaluación de Modelo; y Análisis Espacial).
4. En la **IV Parte: Descripción de la Cartografía de las Especies Estudiadas en Portugal Continental**, se exponen los siguientes ítems: Introducción a la Descripción de la Cartografía de Especies: descripciones individuales de las especies estudiadas y sus mapas de distribución.
5. En la **V Parte: Resultados, Discusión, Replicabilidad y Conclusiones**, se exponen los siguientes ítems: Resultados, Discusión, Replicabilidad y Conclusiones

endémica
arquitectura del paisaje



Ilustração em Aquarela

Catálogo das Espécies Nativas Portuguesas

Autora: Alejandra M. Orozco Meza

Título Original: 'Carduncellus caeruleus (L.) C. Presl.; Habitat na Lusitânia'

Carduncellus caeruleus (L.) C. Presl. In: *Fl. Sicul.*: XXX. (1826) [caerúleus].

Data Original: Março de 2021; Lisboa, Portugal

Dimensões: 41.9 x 56.10"



[2.]

EXPLORACIÓN
DE LA METODOLOGÍA
DE LOS SDMS

2.1 Introducción

En esta segunda sección, se discute la metodología de los *Modelos de Distribución de Especies* (SDMs) desde sus fundamentos teóricos, conceptuales y aplicativos. Se presenta una síntesis crítica sobre la modelización de la distribución de las especies, una herramienta que ha ganado popularidad y poder en el ámbito de la ecología cuantitativa. Su relevancia no se limita únicamente a la conservación aplicada, sino que se extiende a diversas disciplinas ecológicas. Además, se trata de un marco de modelado ampliamente utilizado en las evaluaciones de impacto del cambio global, permitiendo proyectar potenciales cambios en la distribución, composición y abundancia futura de las especies.

Dentro del ámbito de la modelización de los SDMs, se describen cinco fases esenciales según Zurell (2020): (i) Conceptualización; (ii) Preparación de Datos; (iii) Ajuste del Modelo. En esta tercera fase se detallan los modelos MaxEnt y *Random Forest*, que son algoritmos de aprendizaje automático seleccionados para el ajuste de los SDMs actuales y futuros en esta investigación; (iv) Evaluación del Modelo; y (v) Predicción. Esta última fase se expande en este estudio, utilizando el modelo Proyección, lo cual permite exhibir el alcance y las contribuciones de la presente investigación.

En consonancia con lo expuesto en el *Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático* (IPCC, por sus siglas en inglés), se aborda uno de los desafíos más significativos del siglo XXI: el cambio climático antropogénico, y a la vez, su interacción con la biodiversidad. Además, se describen los escenarios de *Emisiones, Concentración y Uso de la tierra*, el Conjunto de Datos NASA *Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections* (NEX-GDDP-CMIP6), así como dos *Modelos Climáticos Globales* (GCMs por sus siglas en inglés) seleccionados para ejecutar los análisis en esta investigación: *Community Earth System Model Version 2*, (CESM2) y *Model for Interdisciplinary Climate Research 6* (MIROC6).

Para abordar el desafío de identificar y monitorear con precisión las variaciones en el paisaje vegetal, ante el cambio climático y otras formas de perturbación antropogénica, se presentan diversas herramientas y marcos de investigación multidimensionales. Se resaltan sistemas y recursos informáticos avanzados, como las supercomputadoras y la computación de alto rendimiento, que permiten el procesamiento eficiente de conjuntos de datos complejos. Esto incluye la integración del modelado de sistemas terrestres con datos de teledetección, potenciando la capacidad de análisis de explicación, predicción y proyección de uso de modelos. Y finalmente, se describen los conjuntos de datos geoespaciales utilizados en esta investigación, los cuales desempeñan un papel fundamental en el marco del presente estudio.

2.2 Modelos de Distribución de Especies (SDMs)

Durante las últimas décadas, la pérdida de la integridad de la biosfera, es decir, la disminución de la biodiversidad global, ha aumentado significativamente debido a diversas actividades humanas. Entre estas se encuentran la creciente homogeneización biótica, la sobreexplotación, la contaminación, la alteración de los ciclos biogeoquímicos (aumento de fósforo y nitrógeno), la fragmentación del hábitat y el cambio climático y el uso de la tierra (Vitousek, 1994; McKinney y Lockwood, 1999; Gibbon *et al.*, 2000; Butchart *et al.*, 2010; Steffen, Crutzen, y McNeill, 2011; Hooper *et al.*, 2012; Steffen *et al.*, 2015). Esta pérdida de biodiversidad ha alterado el funcionamiento, la estabilidad y el suministro de los servicios de los ecosistemas de los cuales depende la sociedad moderna, con consecuencias altamente perjudiciales para la salud y el bienestar humano (MEA, 2005; Worm *et al.*, 2006; Cardinale *et al.*, 2012).

Las iniciativas de conservación y planificación están aumentando para contrarrestar el deterioro de nuestro patrimonio natural (McIntosh *et al.*, 2017; Mills *et al.*, 2019). Para los biólogos y ecólogos del paisaje, la conservación y la restauración de la biodiversidad en una zona determinada requieren identificar qué especies son las más vulnerables a la pérdida de hábitat y estimar el hábitat mínimo necesario para la persistencia de cada una de estas especies (Fahrig, 2001). Esto se debe a que se considera que la cantidad de hábitat es uno de los factores determinantes más importantes de la biodiversidad, por encima de otros componentes de la estructura del paisaje, como la calidad de la matriz y la configuración del hábitat, es decir, la fragmentación *per se* (Fahrig, 2003).

Los *modelos de distribución de especies* (*Species Distribution Models*, SDMs) son herramientas cada vez más populares y poderosas en ecología cuantitativa, invaluable para fines para la conservación aplicada y otras disciplinas ecológicas (Elith *et al.*, 2006; Elith y Leathwick, 2009; Franklin, 2010; Peterson *et al.*, 2011; Guisan *et al.*, 2013; Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017; Mateo *et al.*, 2019; Pollock *et al.*, 2020), y constituyen el marco de modelización más utilizado en las evaluaciones de impacto del cambio global para proyectar posibles desplazamientos futuros del área de distribución de las especies (IPBES, 2016). Los SDMs pronostican las áreas potencialmente adecuadas para las especies en el espacio y el tiempo, al relacionar sus observaciones con predictores ambientales y/o antropogénicos, generalmente basándose en un modelo estadístico (Guisan y Zimmerman, 2000; Guisan y Thuiller, 2005; Elith y Leathwick, 2009; Zurell, 2020).

Araújo *et al.* (2019) definen los SDMs en tres categorías principales de uso de modelos (i) *Explicación*, investiga las relaciones estadísticas entre las distribuciones de especies y el medio ambiente, brindando hipótesis con respecto a los factores ambientales que explican las distribuciones de especies; (ii) *Predicción*, utiliza relaciones especies-medio ambiente modeladas para mapear las distribuciones potenciales en el mismo período de tiempo y región geográfica; y (iii) *Proyección*, amplía estos modelos para estimar áreas adecuadas en el pasado o el futuro y/o en diferentes regiones. Además, los autores mencionan que a pesar del aumento de los estudios que pronostican la distribución de especies bajo el cambio climático, la *explicación* y la *predicción* siguen siendo los usos más comunes de los modelos.

Hay varias razones que los hacen tan populares: son comparativamente fáciles de usar porque existen numerosos paquetes de software. Por ejemplo, *Incertidumbre en Conjuntos de Escenarios Globales de Biodiversidad* de Thuiller *et al.* (2009); *Modelización de Entropía Máxima de Distribuciones Geográficas de Especies* de Phillips, Anderson y Schapire (2006). Además, cuentan con directrices que están disponibles, como *Una Guía Práctica para Árboles de Regresión Reforzados* de Elith, Leathwick y Hastie (2008); *Una Explicación Estadística de MaxEnt para Ecólogos* de Elith *et al.* (2011); *Una Guía Práctica de MaxEnt para Modelar Distribuciones de Especies: ¿Qué hace y por qué los insumos y configuraciones importan?* de Merow, Smith y Silander (2013); *Adecuación de Hábitat y Modelos de Distribución con Aplicaciones en R* de Guisan, Thuiller y Zimmermann (2017).

Como tales, los SDMs aportan información decisiva para mejorar la gestión de las especies y la biodiversidad, al estimar la relación entre los registros de especies en los sitios y las características ambientales y/o espaciales de esos sitios, siempre y cuando se sigan buenas prácticas de modelado (Franklin, 2010; Loiselle *et al.*, 2003; Araújo *et al.*, 2019; La Marca *et al.*, 2019; Brun *et al.*, 2020; Helmstetter *et al.*, 2021). El desarrollo de un SDM comienza con observaciones de biodiversidad georreferenciadas (por ejemplo, ubicaciones individuales, presencia de especies, recuentos de especies, riqueza de especies; correspondientes a la *variable de respuesta o dependiente*) y capas geográficas de información ambiental (por ejemplo, clima, cobertura del suelo, atributos del suelo; correspondientes a las *variables predictoras o independientes*) que se cree que influyen en la idoneidad del hábitat y, por lo tanto, en la distribución de las especies (Franklin, 2010; Araújo *et al.*, 2019; Zurell, 2020).

En la actualidad, la información de datos y catálogos de datos está ampliamente disponible en formato digital. Por ejemplo, el repositorio en línea del *Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (Global Biodiversity Information Facility, GBIF)* es una red internacional e infraestructura de datos de biodiversidad financiada por gobiernos de todo el mundo, con el objetivo de brindar acceso libre y abierto a datos sobre toda la vida en la Tierra a cualquier persona, en cualquier lugar (GBIF, s.f.). Su base de datos comprende 2.351.618.908 de registros de ocurrencia, 89.403 de conjuntos de datos, 2.112 instituciones involucradas y 9.217 artículos revisados utilizan sus datos, al día 15 de agosto de 2023.

Por otro lado, la plataforma *Google Earth Engine (GEE)*, una plataforma a escala planetaria para datos y análisis de ciencias de la Tierra, ofrece acceso a un catálogo de datos de varios *petabytes* para análisis geospaciales. Entre estos, se incluyen datos medioambientales de Farr *et al.* (2007); Hijmans *et al.* (2005); Funk *et al.* (2015), entre otros. De esta manera, se pueden relacionar las observaciones de biodiversidad en lugares concretos con las condiciones ambientales imperantes en esos lugares, por medio de algoritmos estadísticos y de aprendizaje automático.

A continuación, se presentan cuatro enfoques prominentes en SDMs: el *Método de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Estimation, MLE)*, el *Modelo Lineal Generalizado (Generalized Linear Model, GLM)*, las *Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Networks, ANN)* y el *Modelo Aditivo Generalizado (Generalized Additive Model, GAM)*. Cada uno de estos enfoques posee características únicas que los hacen adecuados para diferentes tipos de análisis en ecología cuantitativa, y otras disciplinas.

El MLE, formulado por Fisher (1922), constituye una técnica estadística empleada para estimar los valores óptimos de los parámetros que maximizan la función de *verosimilitud*. Este método es aplicable al ajuste de distribuciones de poblaciones, independientemente de si estas son discretas o continuas y de la cantidad de variables que incluyen. El autor introdujo el término *verosimilitud* para referirse a la “*verosimilitud de que cualquier parámetro (o conjunto de parámetros) tenga cualquier valor asignado (o conjunto de valores) es proporcional a la probabilidad de que, de ser así, la totalidad de las observaciones debería ser la observada*” (Fisher, 1922, p. 310; *traducción propia*); este concepto describe la cantidad de información disponible acerca de los parámetros de poblaciones hipotéticas, destacando que esta medida cuantitativa no se rige por las mismas leyes matemáticas que la *probabilidad*, siendo ambos conceptos fundamentalmente diferentes.

El GLM, introducido por Nelder y Wedderburn (1972), representa una extensión crucial del modelo lineal clásico al permitir la modelización de respuestas de variables que siguen distribuciones pertenecientes a la familia exponencial. Los GLM incluyen modelos de regresión lineal y análisis de varianza, modelos logit y probit para respuestas cualitativas, modelos loglineales, modelos de respuesta multinomial para conteos, y algunos modelos comúnmente utilizados para datos de supervivencia, utilizando distribuciones como la Normal, Binomial, *Poisson* y Gamma (Nelder y Wedderburn, 1972; McCullagh y Nelder, 1989). Todos los GLM tienen tres componentes: El *componente aleatorio* identifica la variable de respuesta "Y" y asume una distribución de probabilidad para ella. El *componente sistemático* especifica las variables explicativas del modelo. La *función de enlace* especifica una función del valor esperado (media) de "Y", que el GLM relaciona con las variables explicativas a través de una ecuación de predicción de forma lineal (Agresti, 2007).

El GAM, desarrollado por Hastie y Tibshirani (1986), es una extensión de los GLM que permite modelar relaciones no lineales entre las variables predictoras y la variable de respuesta mediante la inclusión de funciones suaves. Según los autores, estas funciones son no especificadas y se estiman utilizando un suavizador de diagrama de dispersión en un procedimiento iterativo conocido como *algoritmo de puntuación local*. Además, los autores mencionan que esta técnica es aplicable a cualquier modelo de regresión basado en la verosimilitud, una categoría que engloba muchos modelos como los GLM. En estos modelos, el predictor lineal es reemplazado por un *predictor aditivo*, lo que da origen al nombre de GAM. Como fundamento teórico, los autores argumentan que esta técnica constituye un método empírico para maximizar el *logaritmo de la verosimilitud esperada* o, equivalentemente, para minimizar la distancia de *entropía relativa*, también conocida como distancia de *Kullback-Leibler*. Según Cover y Thomas, (2006), la *entropía relativa* de una variable aleatoria se define como una medida de la incertidumbre asociada con dicha variable, representando la cantidad promedio de información necesaria para describirla; es decir, la diferencia entre una distribución de *probabilidad estimada* y una distribución de *probabilidad verdadera o de referencia*.

Las ANN, son estructuras de mapeo no lineales basadas en la función del cerebro humano, aproximadores de funciones universales y altamente flexibles para cualquier tipo de datos, desarrolladas inicialmente para modelar funciones biológicas. Máquinas inteligentes y pensantes, que trabajan de la misma manera que el cerebro animal. Aprenden de la experiencia de una manera que ningún ordenador convencional puede hacerlo y pueden resolver rápidamente problemas computacionales difíciles (Lek y Guégan, 1999). Por lo tanto, se han convertido en una herramienta frecuentemente utilizada para el modelado ecológico en diversas aplicaciones en la última década Colasanti (1991) y Edwards y Morse (1995), citados en Lek y Guégan (1999).

Una de las características más importantes de las ANN es su capacidad para resolver relaciones altamente no lineales entre variables de entrada y salida. Esto proporciona la oportunidad de realizar optimizaciones completamente sin restricciones y de estimar respuestas de entrada-salida para realizar predicciones y extrapolaciones sin depender de un modelo matemático predefinido (Wijk y Bouten, 1999).

Según Arbeláez y Bouten (2005), las ANN demuestran ser un método con una amplia gama de aplicaciones en ecología, como ecología espacial, modelado de hábitats, ecología ambiental, pesquerías y ecología aplicada a la agricultura, entre otras. Subrayan que la capacidad predictiva de esta técnica es su mayor fortaleza, ya que es capaz de detectar patrones en los datos a través de relaciones no lineales, aspecto que supone una ventaja sobre métodos de predicción tradicionales como la regresión lineal múltiple. No obstante, mencionan que la capacidad de las ANN para explicar relaciones ecológicas, posiblemente el requisito más importante en estudios ecológicos, continúa siendo objeto de debate.

A continuación, en la Figura 4., una representación esquemática del concepto de SDM. En primer lugar, se toman muestras de información sobre biodiversidad y medio ambiente en el espacio geográfico. En segundo lugar, se utiliza un modelo estadístico, en este caso, GLM, para estimar la relación especie-medio ambiente. En tercer lugar, la relación especie-medio ambiente puede trazarse en capas geográficas de información medioambiental para delinear la distribución potencial de la especie en la actualidad y en el futuro.

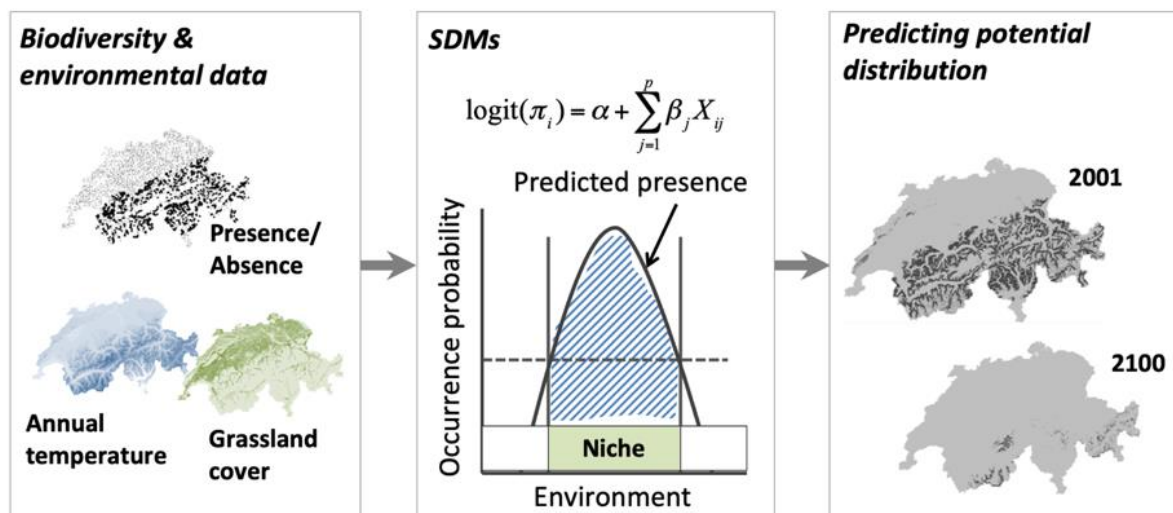


Figura 4. Representación esquemática del concepto de modelización de la distribución de especies. La correspondencia con la zona y el periodo de muestreo suele denominarse *interpolación*, mientras que la transferencia a otro periodo o zona geográfica se denomina *extrapolación* (Zurell, 2020).

2.2.1 Teoría y Concepto

El concepto del área de distribución de una especie, según Soberón (2007), se refiere a “conjuntos de celdas de cuadrícula en el espacio geográfico, definidas por formas reales o potenciales en las que se puede detectar la presencia de individuos de una especie” (p. 1116; traducción propia). Esta definición se analiza considerando un modelo espacialmente explícito de dos competidores que se dispersan en una cuadrícula con parámetros ambientales heterogéneos, tal como lo propuso Pulliam (2000). Por lo tanto, generalmente el área de distribución de una especie se representa en mapas, aunque estos sean *abstracciones* (Soberón, 2007). Detrás de estas *abstracciones*, se identifican patrones espaciales y temporales en los cuales los organismos individuales se distribuyen por el planeta (Brown *et al.*, 1996; Mackey y Lindenmayer, 2001; Gaston, 2003).

El área de distribución de las especies se encuentra determinada por varios criterios. Según Soberón (2007), Guisan y Thuiller (2005), y Soberón y Peterson (2005): (i) las capacidades de dispersión de las especies, ya sea a través de sus propios movimientos o mediante la dispersión de propágulos por agentes externos, influyen qué partes del mundo son accesibles para los individuos de la especie; (ii) la distribución espacial de las condiciones ambientales que favorecen el establecimiento, supervivencia y reproducción de los individuos, principalmente en un sentido fisiológico, también juega un papel importante; y (iii) el ambiente biótico, que incluye competidores, depredadores y patógenos de la especie, además de la disponibilidad y dinámica de los recursos, también influye en la distribución de la especie.

La descripción del área de distribución de una especie a partir de las ubicaciones de los individuos que la componen revelaría una estructura extremadamente compleja y dinámica (Erickson, 1945; Brown *et al.*, 1996; Mackey y Lindenmayer 2001; Gaston, 2003). Una vez estimada la relación entre la especie vegetal y el medio ambiente, resulta en una *explicación, predicción y/o proyección* explícita en el espacio y el tiempo de la distribución de la especie o la idoneidad del hábitat actual, pasado y/o futuro (Phillips, Anderson y Schapire, 2006; Phillips, s.f.; Araújo *et al.*, 2019; Zurell, 2020).

Estas descripciones totalmente explícitas son imposibles, conceptualmente, sugieren una forma rigurosa y operativa para definir las relaciones entre, por un lado, los procesos a nivel individual y poblacional que determinan el éxito ecológico de los individuos (relacionados con los nichos), y por otro, diferentes aspectos de la distribución espacial de dichos individuos y, por lo tanto, del área de distribución de la especie (Soberón, 2007).

Este concepto se pone en práctica y se desarrolla con mayor detalle en el Capítulo 3.

2.2.2 Construcción de los SDMs según Zurell (2020)

En la presente investigación, las fases para la construcción de los SDMs, los datos, modelos climáticos y algoritmos estadísticos y de aprendizaje automático seleccionados, así como los códigos desarrollados, siguen en gran medida las pautas generales propuestas por Zhu *et al.* (2022), White (2021) y Zurell (2020). Además, se han considerado las recomendaciones complementarias de OpenAI (2023) y Gandhi (2020), adaptándolas al contexto específico de este estudio.

De acuerdo con Zurell (2020), los SDMs se consideran como un ciclo en lugar de un flujo de trabajo con un punto de finalización predefinido. La construcción es un proceso iterativo y de aprendizaje constante. Zurell distingue cinco fases principales en la modelización de los SDM: (i) *Conceptualización*; (ii) *Preparación de Datos*; (iii) *Ajuste del modelo*; (iv) *Evaluación del Modelo*; y (v) *Predicción*, en la cual se agrega el uso del modelo *Proyección* para ilustrar los alcances del Caso de Estudio de esta investigación.

A continuación, se describen cada una de las fases según Zurell (2020):

2.2.2.1 Conceptualización

En esta primera fase de conceptualización, se formulan los principales objetivos de investigación y se decide el modelo a utilizar (Elith *et al.*, 2006), así como la configuración del estudio basado en cualquier conocimiento previo sobre la especie.

Un punto relevante es determinar si es posible utilizar datos disponibles o si es necesario recopilar los propios datos de biodiversidad o crear conjuntos de datos sobre las variables medioambientales, lo que podría requerir la elección de un diseño de muestreo apropiado para los objetivos de la investigación. Se verifican los principales supuestos subyacentes de los SDMs, como por ejemplo si la especie está en *pseudoequilibrio* con el medio ambiente y si los datos podrían estar sesgados de alguna manera.

La integración de categorías significativas de predictores ambientales es tan crucial como las decisiones sobre la calibración y evaluación del modelo para garantizar resultados sólidos de SDM (Thuiller *et al.*, 2004; Coudun *et al.*, 2006; Buri *et al.*, 2020; Chauvier *et al.*, 2021). Además, la elección de los algoritmos estadísticos y de aprendizaje automático para la modelización es igualmente importante, lo que suele implicar la combinación de varios algoritmos en modelos de conjunto o la promediación de varios modelos con diferentes conjuntos de predictores (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009). De esta manera, se define la complejidad deseada del modelo. Todas estas decisiones deben ser guiadas por el objetivo de la investigación y por las hipótesis relacionadas con la relación entre la especie y su entorno.

2.2.2.2 Preparación de los datos

En esta segunda fase de preparación de datos, se recopilan y procesan los datos de biodiversidad (*variable de respuesta o dependiente*) y del medio ambiente (*variables predictoras o independientes*).

Es esencial elegir la escala adecuada de los predictores (es decir, resolución y extensión) (Guisan y Thuiller, 2005; Elith y Leathwick, 2009) y/o re-proyectar la escala, de manera que los conjuntos de cuadrículas espaciales o temporales coincidan entre los datos de biodiversidad y del medio ambiente, o incluso dentro de los conjuntos de datos medioambientales (Zurell, 2020). Desde una perspectiva biogeográfica, las áreas de distribución generalmente se definen en extensiones amplias (> 100,000 km²: por ejemplo, en países o regiones dentro de los continentes) y con baja resolución, siendo comunes las celdas de 10,000 a 100,000 km² (Gaston, 2003). Por otro lado, las variables ecológicas cruciales a nivel individual (demográficas, fisiológicas y conductuales) se miden típicamente a escalas de extensión reducida (0.001 a 100 km²) y alta resolución (Whittaker, Willis, y Field, 2001; Pearson y Dawson, 2003). El uso de escala precisa de *alta resolución* depende de la especie (Soberón, 2007).

Wiens *et al.* (2009) enfatizan que cualquier ejercicio de modelado es sensible a la calidad y cantidad de los datos subyacentes, y los SDMs no son una excepción. Por lo tanto, en la presente investigación, se consideran los siguientes dos aspectos críticos del modelado, mencionados por Araújo *et al.* (2019), que son inherentes a esta fase y que impactan la calidad de los resultados del modelo:

- I. La calidad de la *variable de respuesta* (generalmente los datos de presencia de especies)

La información sobre la ocurrencia de las especies en esta investigación se obtiene de GBIF en una resolución de grados decimales. Únicamente se utilizan los conjuntos de datos de presencia validados por especialistas, lo que implica un proceso de identificación taxonómica de acuerdo a las obras más actuales sobre flora. Los registros provenientes de la ciencia ciudadana se excluyen con el fin de reducir cualquier sesgo de muestreo e imprecisiones en los datos taxonómicos y de distribución, que pueden limitar significativamente las evaluaciones de biodiversidad de los SDMs construidos (Anderson, 2012).

La incorporación de datos de ausencia se realiza generando ubicaciones de manera uniforme y aleatoria dentro de Portugal continental en una proporción de 1:2 con respecto a los datos de presencia (datos de ocurrencia). Esto puede fortalecer el modelo al revelar características del *hábitat ausente*, pero es importante considerar que la *ausencia* puede representar tanto una *verdadera ausencia* como una falta en el registro de la especie que realmente está presente (*falsa ausencia*) (Wiens *et al.*, 2009).

II. La calidad de las *variables predictoras* (generalmente datos ambientales)

La información acerca de las variables bioclimáticas y medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre y factores biogeoquímicos utilizada en esta investigación se obtiene a través de GEE. La identificación, adquisición, preparación y selección de las variables predictoras siguen en gran medida las indicaciones proporcionadas por Zhu *et al.* (2022), White (2021), Wu (2020) y Zurell (2020). Además, de manera complementaria, se consideran las indicaciones de OpenAI (2023) y Gandhi (2020), las cuales son adaptadas a los objetivos específicos de los modelos. Esto implica tener en cuenta la biología de las especies bajo investigación (Franklin *et al.*, 2013; Austin y Van Niel, 2011), así como la relación biológica entre la cobertura terrestre y los impactos antropogénicos, como los patrones de cambio y la gestión del uso del suelo a nivel regional o local. Por lo que surgen desafíos cruciales en el presente estudio debido a la falta de conocimiento biológico suficiente sobre las especies (Araújo *et al.*, 2019) y la falta de datos sobre las variables bioclimáticas y medioambientales relevantes para las especies en la extensión espacial y resolución apropiadas para correlacionar y evaluar los impactos antropogénicos de los SDMs.

Las variables predictoras seleccionadas en esta investigación se filtran para abarcar el período comprendido entre el 1 de enero de 1981 y el 1 de enero de 2015, para los SDM actuales, y entre el 1 de enero de 2061 y el 1 de enero de 2080, para los SDMs futuros. Además, se recortan para abarcar el área del territorio continental portugués y se someten a un proceso de re-proyección utilizando el conjunto de datos proporcionado por Buchhorn *et al.* (2020). En este proceso de re-proyección, se excluyen las variables de elevación, pendiente y orientación. Es importante destacar que esta reducción de escala temporal y espacial influye en la adaptación de los *Modelos Climáticos Globales* (*Global Climate Models*, GCMs), y las divergencias en las variables climáticas generales que impulsan los GCMs pueden resultar en proyecciones divergentes, lo que contribuye a la incertidumbre del modelo (Wiens *et al.*, 2009). Esta reducción de escala estadística implica interpolaciones basadas en relaciones empíricas entre variables, utilizando datos de estaciones meteorológicas o GCMs, y teniendo en cuenta datos bioclimáticos y medioambientales relacionados con la cobertura terrestre y factores biogeoquímicos.

En esta investigación, se utilizan dos GCMs para proyectar futuros plausibles basados en la información y el entendimiento actuales. Esto introduce incertidumbres adicionales provenientes de estos modelos climáticos. Los modelos empleados son el *Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2* (CESM2) (Danabasoglu *et al.*, 2020) y el *Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6* (MIROC6) (Tatebe *et al.*, 2019), los cuales describen condiciones futuras potenciales en una escala de resolución aproximada de 27.830 metros.

Debido a los diferentes parámetros y funciones para representar la dinámica de la circulación atmosférica, los efectos oceánicos o las interacciones entre la superficie terrestre y la atmósfera, estos modelos pueden proyectar diferentes resultados para el mismo nivel de diferentes vías de dióxido de carbono (CO₂), gases de efecto invernadero (GEI) distintos del CO₂, aerosoles y uso de la tierra (Wiens *et al.*, 2009; Amann *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2017). Proyecciones para el área de estudio, derivadas del uso del modelo CESM2 con el escenario SSP2-4.5 por ejemplo, sugiere un aumento de la temperatura media anual de 3.03 °C para el año 2070, mientras que el modelo MIROC6 proyecta un aumento de temperatura media anual de 1,53 °C para el mismo escenario de *Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)*.

Los desajustes de escala espacial entre el tamaño de grano de los resultados de los GCMs, las variables bioclimáticas y medioambientales, y los datos de presencia y ausencia utilizados como entradas para los SDMs pueden amplificar las incertidumbres inherentes a cada uno de estos conjuntos de datos (Wiens y Bachelet, 2010; Root y Schneider, 1993).

Según Wiens *et al.* (2009), los efectos de estas incertidumbres relacionadas con la escala espacial difieren según la escala de análisis. Estos autores mencionan que algunas incertidumbres se pueden promediar si el tamaño de grano de las distribuciones pronosticadas es grande. Por ejemplo, cuando se busca determinar el rango geográfico general de una especie, como en el caso de delimitar el área de distribución en Portugal continental, la Cuenca Hidrográfica del Río Jamor (CH Río Jamor) y los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, que son áreas de interés de esta investigación. Por otro lado, a medida que se modelan características a escala más fina, es más probable que se capturen los factores que determinan el hábitat real, como en la extracción del valor de idoneidad logística de cada especie para el *Proyecto Ponte Verde de Queluz* (PVQ), el área de estudio de la presente investigación. No obstante, en una resolución muy fina, las distribuciones pueden no coincidir estrechamente con los factores ambientales, ya que las interacciones de comportamiento (territorial y atracción social) pueden anular la selección de hábitat. Por otro lado, en la resolución más amplia de un rango geográfico extenso, solo pueden emerger las relaciones ambientales más generales en los análisis correlacionales (Pulliam, 2000).

2.2.2.3 Ajuste del modelo

En esta tercera fase de ajuste de los modelos, se aborda la toma de decisiones con respecto a la implementación (*calibración y validación*) de un modelo, mediante la cual se ajusta una relación estadística entre los datos de ocurrencia de especies y los datos ambientales (Araújo *et al.*, 2019). Este ajuste de modelo se considera como el núcleo de cualquier aplicación de SDM (Zurell, 2020). Algunos métodos apropiados y ampliamente utilizados en SDM no son estadísticos en sentido estricto, por lo que se refieren más ampliamente a modelos empíricos cuantitativos y basados en reglas. En cualquier caso, los métodos incluidos son explícitos y el modelado es repetible (Franklin, 2010).

Algunos aspectos importantes a tener en cuenta durante esta fase de ajuste del modelo son: (i) ¿Cómo tratar la multicolinealidad en los datos medioambientales? (ii) ¿Cuántas variables deben incluirse en el modelo (sin sobreajuste) y cómo seleccionarlas? (iii) ¿Cuál o cuáles modelos se deciden implementar para la construcción SDMs? (iv) ¿Qué ajustes del modelo deben utilizarse? (v) Cuando se ajustan múltiples algoritmos de modelos o modelos candidatos, ¿Cómo seleccionar el modelo final o promediar los modelos? (vi) Si el objetivo es obtener predicciones binarias, ¿Qué umbral debe utilizarse? (Franklin, 2010; Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017).

En la presente investigación, se responden las anteriores preguntas de la siguiente manera:

- (i) Se aborda la multicolinealidad en los datos medioambientales seleccionando variables con un coeficiente de correlación de Pearson entre $|r| < 0.8$, lo que evita problemas de multicolinealidad (Dormann *et al.*, 2013). No obstante, se incluyen tres variables altamente correlacionadas con $|r| > 0.9$, ya que ofrecen información detallada sobre cómo se utiliza y gestiona la cobertura terrestre, lo cual es fundamental para analizar el comportamiento del modelo y su extrapolación;
- (ii) La selección de las variables bioclimáticas y medioambientales, así como los índices para los análisis, sigue en gran medida las indicaciones generales de Zhu *et al.* (2022), White (2021), Wu (2020) y Zurell (2020), y de forma complementaria, las de OpenAI (2023) y Gandhi (2020), adaptadas al presente Caso de Estudio;

- (iii) Para la construcción de los SDMs actual y futuros, se decide implementar dos modelos, *Modelización de Entropía Máxima de Distribuciones Geográficas de Especies* (MaxEnt) y *Random Forest* (RF), ambos algoritmos de aprendizaje automático, los cuales corren en dos GCMs, CESM2 y MIROC6, bajo tres escenarios climáticos, *histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Como resultado final, se generan mapas de consenso para cada especie modelada en cada escenario climático. Esta construcción se realiza desde una exploración completa de las consecuencias de todas las elecciones que brindan los modelos, y se cuantifica el grado en que los propios métodos de modelado introducen la variabilidad en las predicciones finales, un aspecto crítico que impactan la calidad de los resultados de los modelos (Araújo *et al.*, 2019);
- (iv) La precisión predictiva de los modelos MaxEnt se evalúa mediante la puntuación AUC media (área bajo la curva de operación del receptor ROC, media \pm SD), por sus siglas en inglés: *Area Under the Curve* y *Receiver Operating Characteristic*, respectivamente. Para evaluar la precisión predictiva de los clasificadores de los modelos RFs, se utilizan primero los datos de entrenamiento para generar la matriz de confusión (*Confusion Matrix*); segundo los datos de prueba para generar la matriz de error (*errorMatrix*), la precisión global (*Overall Accuracy*), el coeficiente Kappa (κ), la precisión del productor (*Producer's Accuracy*), y la precisión del consumidor (*Consumer's Accuracy*); y tercero la estimación del *out-of-bag* (OOB);
- (v) Ambos modelos implementados, tiene la salida por defecto logística, por lo que se decide calcular el promedio del rendimiento entre los modelos, es decir, la media (μ) entre los datos de prueba y entrenamiento (AUC_{prueba} y Precisión global_{prueba}; AUC_{entrenamiento} y Precisión global_{entrenamiento}); y para los RFs se estima la media (μ) del κ _{prueba} y κ _{entrenamiento}, y del error OOB; y
- (vi) Se utilizó el umbral recomendado por Phillips (s.f.) de 0.5, asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen este umbral de probabilidad de presencia.

Como se menciona en el punto anterior (iii), en esta investigación se desarrollan modelos SDMs actuales y futuros para cada especie utilizando dos algoritmos de aprendizaje automático: MaxEnt (versión 3.4.1) y RF (versión Library Smile 1.5.3). Estos algoritmos han demostrado un buen rendimiento en validaciones de modelos en conjuntos de datos independientes, en términos de sensibilidad y especificidad. Por ejemplo, MaxEnt y algoritmos basados en árboles, como *boosted regression trees*, han mostrado ser especialmente efectivos (Elith *et al.*, 2006; Thuiller *et al.*, 2003).

A continuación, se describen los modelos MaxEnt y RF, algoritmos de aprendizaje automático seleccionados para el ajuste de los SDMs actuales y futuros en esta investigación:

MaxEnt

Según Phillips, Anderson y Schapire (2006, p. 234):

“Maxent is a general-purpose method for making predictions or inferences from incomplete information. (...) The idea of Maxent is to estimate a target probability distribution by finding the probability distribution of maximum entropy (i.e., that is most spread out, or closest to uniform), subject to a set of constraints that represent our incomplete information about the target distribution. The information available about the target distribution often presents itself as a set of real-valued variables, called ‘features’, and the constraints are that the expected value of each feature should match its empirical average (average value for a set of sample points taken from the target distribution). When Maxent is applied to presence-only species distribution modeling, the pixels of the study area make up the space on which the Maxent probability distribution is defined, pixels with known species occurrence records constitute the sample points, and the features are climatic variables, elevation, soil category, vegetation type or other environmental variables, and functions thereof”.

A partir de las localidades de ocurrencia georreferenciadas y un conjunto de cuadrículas ambientales, el modelo expresa una distribución de probabilidad en la que cada celda de la cuadrícula tiene una idoneidad prevista de las condiciones para la especie, sujeta a la restricción de que el valor esperado de cada variable ambiental (o su transformación y/o interacciones) bajo esta distribución estimada coincida con su promedio empírico (Phillips, Anderson y Schapire, 2006).

La salida por defecto de los modelos MaxEnt es logística, lo cual es más fácil de conceptualizar, y proporciona un estimado entre cero (0) y uno (1) de probabilidad de presencia. Esta salida logística estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen una probabilidad de presencia alrededor de 0.5 (Phillips s.f.). Esto puede interpretarse como probabilidad de presencia predicha (transformación de obstrucción) o como abundancia local predicha (salida exponencial sin procesar) (Museo Americano de Historia Natural [AMNH], 2023).

Algunas de las ventajas importantes para utilizar MaxEnt en la presente investigación se deben principalmente a su capacidad de generar una salida logística (salida continua), dentro de las áreas adecuadas para cada especie modelada, esto distingue aún más entre aquellas con una predicción marginalmente (pero suficientemente) sólida y aquellas con predicciones cada vez más fuertes. Estas distinciones detalladas y precisas, permiten desarrollar predicciones binarias (con clasificaciones de presencia/ausencia) que proporcionan una gran flexibilidad en la elección del umbral.

Esta aplicación resulta especialmente beneficiosa para la planificación de la conservación de las especies modeladas (Phillips, Anderson y Schapire, 2006), ya que las diferencias sutiles en la idoneidad ambiental relativa predicha pueden ser de gran utilidad para los algoritmos de planificación de reservas (métodos y enfoques utilizados para determinar las áreas prioritarias para la conservación y la creación de reservas naturales), al priorizar y determinar las áreas que deben ser protegidas para asegurar la supervivencia y la conservación efectiva de las especies modeladas. Además, MaxEnt también podría aplicarse a datos de presencia/ausencia de especies mediante el uso de un modelo condicional, en contraste con el modelo incondicional que se basa únicamente en datos de presencia (Phillips, Anderson y Schapire, 2006).

En evaluaciones generales entre regiones y especies, MaxEnt muestra un buen desempeño, tanto en comparación con otros métodos para especies individuales como en la evaluación de patrones a nivel regional. Además, se destaca como uno de los métodos de mayor rendimiento en la modelación de especies vegetales (Elith *et al.*, 2006). Dado que el objeto de estudio de la presente investigación son especies vegetales, se ha seleccionado MaxEnt como uno de los métodos para llevar a cabo el modelado.

Random Forest

La definición según Breiman (2001, p. 6):

“A random forest is a classifier consisting of a collection of tree-structured classifiers $\{h(\mathbf{x}, \Theta_k), k = 1, \dots\}$ where the $\{\Theta_k\}$ are independent identically distributed random vectors and each tree casts a unit vote for the most popular class at input \mathbf{x} ”.

Es un algoritmo de aprendizaje automático en conjunto, que utiliza un procedimiento de *bagging* de árboles de clasificación (Breiman, 1996a), para promediar los resultados de muchos diferentes *Árboles de Clasificación y Regresión (Classification And Regression Trees, CARTs)*. En el *bagging*, los árboles sucesivos no dependen de árboles anteriores, ya que cada uno se construye de manera independiente utilizando una muestra *bootstrap* del conjunto de datos (Liaw y Wiener 2002). *Bagging*, significa: *bootstrap aggregation*.

Básicamente, se ajustan muchos CARTs a muestras *bootstrap* de los datos de entrenamiento y, después de generar un gran número de árboles, se promedian los resultados en el caso de los árboles de regresión o se realiza una votación por la clase más popular en el caso de los árboles de clasificación (*committee averaging*) (Breiman, 2001; Hastie, Tibshirani y Friedman 2009; Guisan, Thuiller y Zimmermann 2017). Breiman (2001), llama a estos procedimientos *Random Forests (RFs)*, un método que generan muchos clasificadores y agregan sus resultados.

El método de los RFs presenta una característica destacada en la utilización de muestras *out-of-bag (OOB)* para monitorear el error, estimar la fuerza y evaluar la correlación. En específico, la estimación OOB para el error de generalización se refiere a la tasa de error del clasificador OOB en el conjunto de entrenamiento (Breiman, 2001). El estudio de estimaciones de error para clasificadores *bagged* realizado por Breiman (1996b) proporciona evidencia empírica que respalda la precisión equiparable entre la estimación OOB y el uso de un conjunto de prueba del mismo tamaño que el conjunto de entrenamiento. Por lo tanto, adoptar la estimación del error OOB obvia la necesidad de mantener un conjunto de prueba independiente; es importante señalar que estas estimaciones OOB mantienen imparcialidad en su cálculo (Breiman, 2001).

En cada conjunto de entrenamiento *bootstrap*, aproximadamente un tercio de las instancias se excluyen. Esto implica que las estimaciones OOB se construyen combinando únicamente cerca de un tercio de los clasificadores, en comparación con la combinación principal en curso (Breiman, 2001). En otras palabras, la predicción o ajuste para un punto de datos específico proviene del promedio de árboles que no incorporaron dicho punto de datos durante su crecimiento. Como resultado, la validación cruzada está intrínsecamente presente en la salida de los RFs (Zurell, 2020).

Adicionalmente, los RFs emplean un procedimiento de permutación para estimar la importancia de las variables. Este proceso mide, para cada variable, el descenso en la precisión media cuando dicha variable se permuta (Zurell, 2020). Esta estrategia permite cuantificar la contribución relativa de cada variable en el proceso de modelización.

2.2.2.4 Evaluación del modelo

En esta cuarta fase de evaluación de los modelos, se realiza una exploración completa y un análisis detallado de los modelos ajustados. En términos más rigurosos, se verifica la plausibilidad de la relación especie-entorno ajustada mediante la puntuación AUC para los modelos MaxEnt. Esta medida constituye una auténtica prueba de la capacidad predictiva de los modelos (Phillips, Anderson y Schapire, 2006). Para evaluar la precisión predictiva para los clasificadores de los modelos RFs, se utilizan (i) los datos de entrenamiento para generar la matriz de confusión (*Confusion Matrix*); (ii) los datos de prueba para generar la matriz de error (*errorMatrix*), la precisión global (*Overall Accuracy*), el coeficiente Kappa (κ), la precisión del productor (*Producer's Accuracy*), y la precisión del consumidor (*Consumer's Accuracy*); y (iii) la estimación del *out-of-bag* (OOB) (Breiman, 1996b; Breiman, 2001; Wu, 2020; White, 2021).

Adicionalmente, en ambos modelos, se estima la importancia de las variables mediante un procedimiento de permutación. Se utiliza la métrica *Mean Decrease Accuracy*, (%IncMSE), que evalúa la disminución promedio en la precisión por cada variable cuando se realiza una permutación. Además, se emplea la importancia según el índice de división de *Gini*, conocida como *Mean Decrease Gini* (IncNodePurity), la cual cuantifica las divisiones en los árboles con el propósito de medir la relevancia de la variable para el modelo (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009; Zurell, 2020). Esto posibilita identificar las variables que contribuyen en mayor medida al modelo y descartar aquellas que aportan menos del 1% al modelo. Esto permite identificar los predictores críticos que inciden directamente en el sistema y caracterizar sus efectos e interacciones de manera adecuada (Araújo *et al.*, 2019).

Esta precisión predictiva, capacidad del modelo de predecir, es primordial para cumplir con el objetivo de predecir las distribuciones actuales de las especies modeladas, en el mismo espacio y tiempo que los datos de entrada (Araújo *et al.*, 2019). No obstante, independientemente de los métodos de modelado elegidos, surge un desafío crucial en la evaluación debido a la falta de conocimiento preciso sobre las distribuciones reales de las especies (Elith *et al.*, 2006).

En el Caso de Estudio de la presente investigación, y en muchos otros casos similares, la evaluación se enfoca en el desempeño predictivo, evaluando la precisión en función de la capacidad de los modelos para predecir los datos retenidos, es decir, los datos de prueba o validación (Boyce *et al.*, 2002; Hirzel *et al.*, 2006; Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009).

Específicamente, para los modelos MaxEnt, se asigna aleatoriamente el 75% de los registros de presencia al conjunto de datos de entrenamiento y el 25% al conjunto de datos de prueba. En cuanto a los modelos RFs, se asigna el 80% de los registros de presencia al conjunto de datos de entrenamiento y el 20% al conjunto de datos de prueba. En otros escenarios, podrían aplicarse particiones *k-fold* o utilizar técnicas de re-muestreo como el *bootstrapping* (Fielding y Bell 1997; Hastie, Tibshirani y Friedman, 2001; Araújo *et al.*, 2005). La mejor estrategia dependerá de la pregunta de investigación, los datos de biodiversidad y medioambientales, y del algoritmo SDM (Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017).

2.2.2.5 Predicciones y Proyecciones

En esta quinta fase de predicciones y proyecciones, el SDM actual se utiliza como fondo para proyectar futuras distribuciones de la especie. Con el SDM actual ajustado cuidadosamente, se lleva a cabo una inspección exhaustiva del comportamiento del modelo y de la extrapolación. Además, se evalúa el rendimiento predictivo, marcando el momento en que se realiza la predicción actual y las proyecciones futuras acerca de la dinámica de la biodiversidad en el espacio y el tiempo (Zurell, 2020; Araújo *et al.*, 2019).

Los puntos cruciales a considerar son la cuantificación de la incertidumbre en la predicción y proyección del modelo derivadas de las estructura del modelo climático, los algoritmo del modelo de distribución, la calidad y cantidad de datos y los desajustes entre las escalas de modelo y datos (Wiens *et al.*, 2009; Zurell, Elith y Schroeder 2012; Thuiller *et al.*, 2019). Estas consideraciones abordan cuatro aspectos críticos del modelado que influyen en la calidad de los resultados del modelo: (i) la calidad de la variable de respuesta (generalmente datos de presencia de especies), (ii) la calidad de las variables predictoras (generalmente datos ambientales), (iii) la construcción de los modelos y (iv) la evaluación de las incertidumbres del modelo (Araújo *et al.*, 2019).

2.3 Cambio Climático Antropogénico y Biodiversidad

El *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)* ha publicado de manera continua informes de evaluación en los que se sintetiza una visión integral de los cambios climáticos y ecológicos pasados, presentes y futuros en diversas escalas de tiempo, y para diferentes *escenarios*, incluido el calentamiento global centenario, a través de los *Modelos Climáticos Globales (Global Climate Models, GCMs)*, una amplia gama de simulaciones numéricas, especialmente de proyecciones climáticas y ecológicas futuras después del siglo XXI.

En el *Sexto Informe de Evaluación (Sixth Assessment Report, AR6)*, el IPCC marca más de 30 años de colaboración global para describir y comprender, a través de evaluaciones expertas, uno de los desafíos fundamentales del siglo XXI: el cambio climático inducido por el ser humano (Chen *et al.*, 2021).

El AR6 IPCC evalúa tanto los cambios observados como los componentes de estos cambios que son atribuibles a la influencia antropogénica diferenciando entre cambios antropogénicos y cambios forzados de manera natural. La tasa, escala y magnitud de los cambios antropogénicos en el sistema climático desde mediados del siglo XX sugieren la definición de una nueva época geológica: el *Antropoceno*, enfatizando el papel central de la humanidad en la geología y ecología (Crutzen y Stoermer, 2000; Steffen, Crutzen y McNeill, 2007), que hace referencia a una era en la que la actividad humana está alterando componentes clave del sistema terrestre y dejando huellas mensurables que perdurarán en el registro geológico y ecológico permanente (IPCC, 2018) (véase Figura 5).

Los esfuerzos para abordar el cambio climático antropogénico se llevan a cabo junto a y en el contexto de otros problemas ambientales importantes, como la pérdida mundial de biodiversidad y la sexta extinción masiva de especies (Steffen, Crutzen y McNeill 2007; Ceballos *et al.*, 2017). En el proceso de generación de *escenarios* para el *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, CMIP6)* del AR6 IPCC, se involucra a las comunidades de investigación vinculadas a los tres *Grupos de Trabajo (Working Groups, WGs)* del IPCC (Eyring *et al.*, 2016; O'Neill *et al.*, 2016). De esta manera, la *Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)*, colabora conjuntamente con el *Grupo de Trabajo II (WGII)* del IPCC en el marco del programa de trabajo continuo. En AR6 IPCC se evalúan los *Modelos de Ecosistemas y Biodiversidad* en relación a la *Adaptación*, considerando impactos a nivel de especies y humanos (incluyendo enfermedades infecciosas, estrés térmico, distribución de especies, pérdidas en seguros, etc.) (Chen *et al.*, 2021) (véase Figura 6).

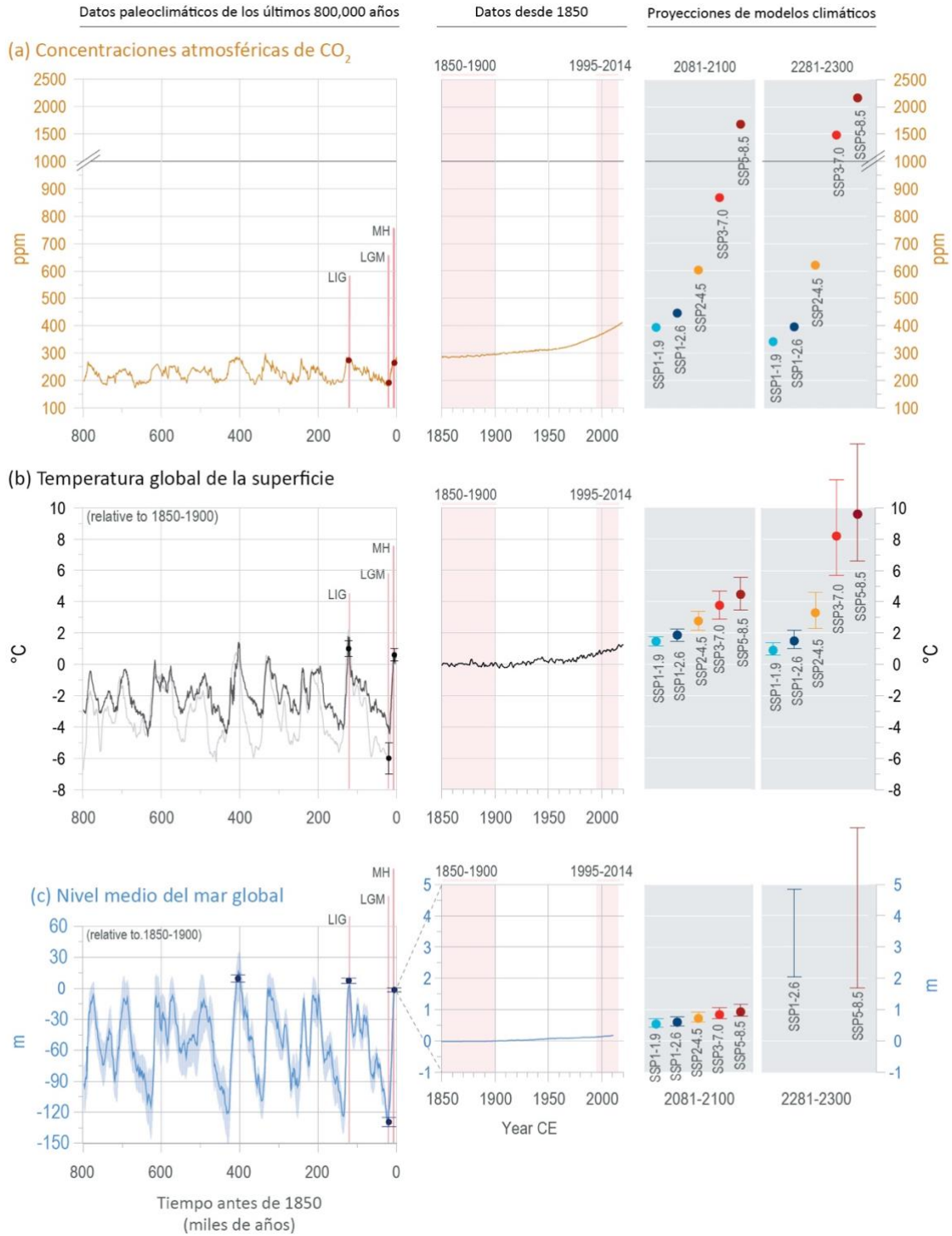


Figura 5. Contexto a largo plazo del cambio climático antropogénico basado en reconstrucciones paleoclimáticas seleccionadas durante los últimos 800,000 años (800 kyr) para tres indicadores clave: (a) *Concentraciones atmosféricas de CO₂*, (b) *Temperatura media global de la superficie (Global Mean Surface Temperatura, GMST)* y (c) *Nivel medio global del mar (Global Mean Sea Level, GMSL)* (Chen et al., 2021).

Se proyecta que para finales del siglo XXI, los patrones globales y regionales de circulación atmosférica y precipitación, así como la temperatura, cambiarán drásticamente (Tatebe *et al.*, 2019). Esto resultará en un aumento significativo en la frecuencia de eventos climáticos extremos, como olas de calor y sequías, y en la intensidad de los ciclones extratropicales que será mayor en comparación con la actualidad (Chen *et al.*, 2021).

A continuación, se presentan ejemplos de cambios y eventos climáticos extremos:

- I. Simulaciones de calentamiento global realizadas a través de los *Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (Atmosphere-Ocean General Circulation Models, AOGCMs)* evidencian cambios antropogénicos sustanciales en las precipitaciones tropicales (Neeling *et al.*, 2006);
- II. Modelos climáticos sugieren que el forzamiento antropogénico debería haber causado un ligero aumento en la precipitación media global y una redistribución latitudinal de la precipitación, aumentando la precipitación en latitudes altas y disminuyendo la precipitación en las latitudes subtropicales y posiblemente cambiando la distribución de la precipitación dentro de los trópicos al desplazar la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (Zhang *et al.*, 2007);
- III. Modelos climáticos revelan que la precipitación al cambio de temperatura aire-superficie global es de aproximadamente un 2-3% por cada grado Kelvin de cambio, y se puede predecir a partir del forzamiento radiativo medido en la tropopausa o en la *Top of Atmosphere* (parte superior de la atmósfera, TOA) (asumiendo una sensibilidad) (Andrews *et al.*, 2010);
- IV. Modelos climáticos sugieren cambios con las ondas baroclínicas en la troposfera a través de un cambio consistente en las tasas de crecimiento baroclínico, desplazando la latitud preferida para el crecimiento de las ondas y, por lo tanto, la trayectoria de las tormentas hacia el sur, aumentando así la tormentosidad en las latitudes medias, afectando en gran medida las proyecciones de los vientos invernales, las precipitaciones y, por lo tanto, la probabilidad de futuras inundaciones en las regiones de la trayectoria de tormentas en latitudes medias (Scaife *et al.*, 2012);
- V. Modelos climáticos proyectan una intensificación con el aumento del forzamiento radiativo de patrones de cambio en los índices basados en la temperatura y la precipitación. Esto incluye un calentamiento más fuerte y un aumento en las precipitaciones extremas en las latitudes del norte (Sillmann *et al.*, 2013).

- VI. Modelos climáticos de alta resolución indican que es probable que los ciclones tropicales se intensifiquen en un clima más cálido (Meehl *et al.*, 2007a), sobre todo en términos de sus vientos y precipitaciones, aunque es probable que la cantidad de tormentas sea menor (Oouchi *et al.*, 2006; Bengtsson *et al.*, 2007);
- VII. Modelos climáticos proyectan que la frecuencia de ciclones intensos con una presión por debajo de 980 hPa aumentará en el lado polar y aguas abajo de las corrientes de tormentas, y la tasa de crecimiento promedio de estos ciclones se ve potenciada en áreas aguas arriba de estas regiones, especialmente en el Pacífico Norte (Mizuta, 2012); y
- VIII. Modelos climáticos sugieren una disminución en el número de ciclones en el Mar de Noruega, mientras que se presenta un aumento pequeño pero significativo sobre las Islas Británicas ($3\% \pm 2\%$). Se encuentra una reducción mayor en el número de ciclones en el Mar Mediterráneo ($-12\% \pm 2\%$). El número total de ciclones disminuye ($-3.6\% \pm 0.6\%$) (Zappa *et al.*, 2013).

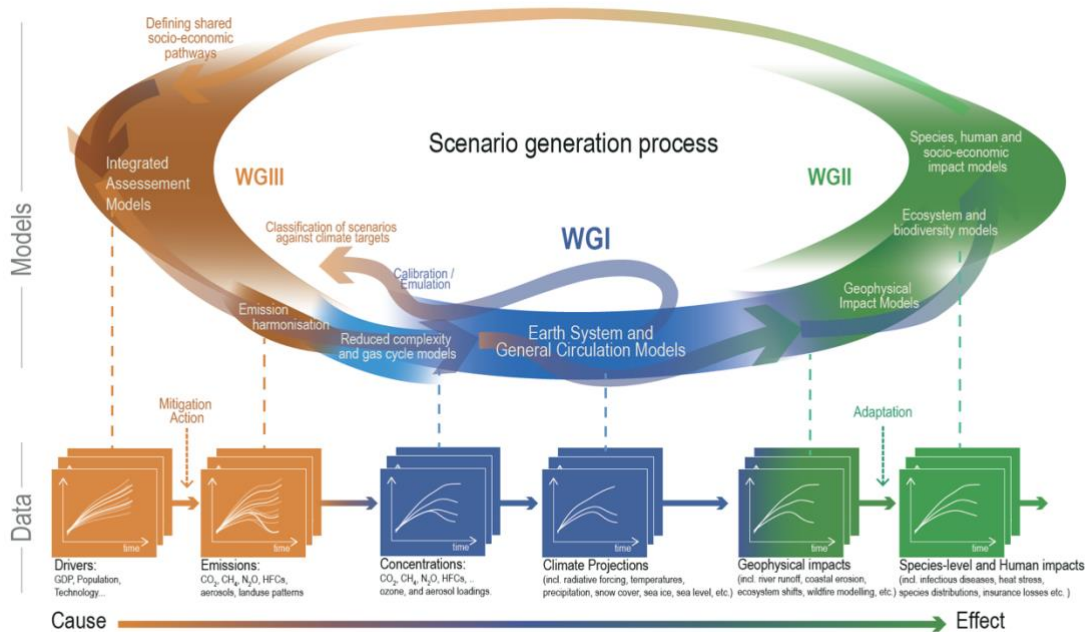


Figura 6. Una ilustración simplificada del proceso de generación de *escenarios*, en la que participan las comunidades científicas representadas en los tres WGs del IPCC. El conjunto circular de flechas en la parte superior indica el conjunto principal de modelos y flujos de trabajo utilizados en el proceso de generación de *escenarios*, con el nivel inferior indicando los conjuntos de datos (Chen *et al.*, 2021).

A medida que avanza el calentamiento global debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénico, se reconoce que los niveles globales de forzamiento radiativo pueden alcanzarse mediante diversas vías de dióxido de carbono (CO₂), gases de efecto invernadero no CO₂, aerosoles y el uso del suelo humano (Amann *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2021).

La comprensión de la interacción entre el cambio climático y la biodiversidad es esencial en la actualidad, debido a que las alteraciones abarcan no solo el cambio climático en sí, sino también cambios químicos y biológicos en el sistema terrestre, como la rápida acidificación de los océanos debido a la absorción de CO₂ antropogénico, la destrucción masiva de bosques tropicales, y la disminución de especies en una reducción en su tamaño de población y rango de distribución (el 32% de las especies de vertebrados conocidas está disminuyendo). Todo esto evidencia que la sexta extinción masiva en la Tierra es más grave de lo percibido al considerar exclusivamente las extinciones de especies (Hoegh-Guldberg y Bruno, 2010; Ceballos *et al.*, 2017; IPBES, 2019).

Este cambio climático no solo está impactando directamente en los sistemas naturales. Según la evaluación global de la IPBES (2019), el cambio climático es un *“impulsor directo que está exacerbando cada vez más el impacto de otros impulsores en la naturaleza y el bienestar humano”* (p. 13; *traducción propia*); y *“se proyecta que el cambio climático aumentará considerablemente el número de especies en peligro, con menos especies ampliando sus rangos o experimentando condiciones climáticas más adecuadas que el número de especies experimentando contracción de rangos o condiciones menos adecuadas”* (p. 35; *traducción propia*).

Dado el amplio conjunto de pruebas de la pérdida y la disminución en la biodiversidad mundial en las últimas décadas, y que estas pérdidas y disminuciones están relacionadas con el cambio climático y otras formas de perturbación antropogénicas (IPBES, 2019). En este contexto, surge la necesidad de identificar y monitorear con precisión las variaciones en la biodiversidad a nivel mundial. Para lograr esto, surge un nuevo esfuerzo internacional para identificar un conjunto de *Variables Esenciales de Biodiversidad (Essential Biodiversity Variables, EBVs)*. El concepto de EBVs se introduce para avanzar en la recopilación, el intercambio y el uso de información sobre biodiversidad, que permitan consolidar las diversas observaciones de biodiversidad recopiladas mediante distintos métodos, incluyendo el seguimiento *in situ* y la teledetección (Pereira *et al.*, 2013; Navarro *et al.*, 2017).

2.3.1 Cambios en los Rangos de Distribución, Composición y Abundancia

El WGII del *Quinto Informe de Evaluación* del IPCC (AR5 WGII) concluye que muchas especies terrestres han desplazado sus rangos geográficos en las últimas décadas (*alta confianza*) (Chen *et al.*, 2021). De manera similar, el *Cambio Climático y Tierra (Climate Change and Land, SRCCL)* evalúa que muchas especies terrestres han experimentado cambios en el tamaño y la ubicación de sus rangos, así como alteraciones en sus abundancias en las últimas décadas (*alta confianza*) (IPCC, 2019a). El *Océano y la Criósfera en un Clima Cambiante (Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, SROCC)* señala que la composición y abundancia de especies han cambiado notablemente en los ecosistemas de alta montaña en las últimas décadas (*confianza muy alta*) (IPCC, 2019b). SRCCL y SROCC evalúan las relaciones entre los cambios del sistema climático y la biodiversidad.

Los registros ecológicos y biológicos a largo plazo capturan extensos desplazamientos en el rango de distribución durante el siglo XX y principios del siglo XXI, cambios simples, unidimensionales y unidireccionales que implican impulsores complejos, como los cambios climáticos locales y globales (Lenoir y Svenning, 2015). Dado que los cambios climáticos observados y proyectados para el siglo XXI, en particular el calentamiento global, son comparables en magnitud a los mayores cambios globales de los últimos 65 millones de años (Diffenbaugh y Field, 2013; Kemp, Eichenseer y Kiessling, 2015). El ritmo y la magnitud combinados del cambio climático antropogénico ya están generando una respuesta biológica a escala global, con una redistribución impulsada por el clima, ubicua, que sigue patrones repetidos y dispuesta a influir en una mayor proporción de la biota de la Tierra (Pecl *et al.*, 2017).

Es importante destacar que un análisis grande y cuasi global (Chen *et al.*, 2011) estima que muchas especies de insectos, aves y plantas han experimentado desplazamientos desde mediados del siglo XX, de 17 (± 3) km por década hacia latitudes más elevadas, es decir, están migrando hacia áreas más cercanas a los polos, ya sea hacia el norte o hacia el sur, y de 11 (± 2) m por década hacia altitudes superiores, es decir, están migrando hacia áreas de mayor elevación, con cambios tanto en los bordes delanteros como en los bordes traseros de los rangos de especies (Rumpf *et al.*, 2018). En este contexto, Elmendorf *et al.* (2015), analizan los efectos del cambio climático en las comunidades de plantas en su conjunto, utilizando métodos experimentales, de monitoreo y de gradientes, y encuentran que los efectos en un incremento en la abundancia relativa de especies, con un nicho térmico más cálido como respuesta a temperaturas de verano más elevadas, son mayores en gradientes espaciales de amplia escala en comparación con la variabilidad temporal dentro de un sitio, respaldando así la idea de que las inferencias basadas en la sustitución de espacio por tiempo tienden a sobrestimar la magnitud de las respuestas al calentamiento climático antropogénico debido a que los gradientes espaciales reflejan procesos de largo plazo.

En un estudio realizado por Lenoir *et al.* (2008), se investiga la distribución altitudinal de 171 especies de plantas forestales a lo largo de los períodos comprendidos entre 1905 y 1985, y entre 1986 y 2005, en todo el rango de elevación (desde 0 hasta 2.600 metros sobre el nivel del mar) en la región occidental de Europa. Los resultados muestran que el cambio climático antropogénico ha generado un notable desplazamiento ascendente en la elevación óptima de las especies. Este fenómeno se observa de manera particularmente marcada en las especies limitadas a hábitats montañosos y en las especies herbáceas, que se caracterizan por tener una rotación poblacional más rápida, con un promedio de desplazamiento de 29 metros por década. Otros ejemplos de cambios en la distribución de las especies vegetales alrededor del planeta a escala continental, evidentes donde convergen los biomas, son: (i) el cambio en los límites de las líneas de árboles, que son zonas de transición sensibles a la temperatura y han experimentado un fuerte calentamiento invernal, siendo más propensas a avanzar más allá de su posición actual (Harsch *et al.*, 2009); y (ii) el cambio en la ubicación geográfica de los ecotonos del bosque boreal y del bosque templado, los cuales se han estado desplazando hacia el norte debido al cambio climático; no obstante existen escasos datos disponibles para identificar los procesos involucrados en estos desplazamientos (Evans y Brown, 2017).

De acuerdo con Gibson-Reinemer *et al.* (2015), en ecosistemas de montañas, se está produciendo un rápido recambio de especies, que se refiere al número total de ganancias y pérdidas de especies dentro de un área, debido a las tasas variables de desplazamientos de rango impulsados por el cambio climático. No obstante, existen excepciones al patrón general de migración hacia latitudes más elevadas y altitudes superiores (Chen *et al.*, 2021). Contrariamente a lo esperado, los estudios ecológicos a largo plazo realizados por Dornelas *et al.* (2014, 2019) también indican que no se observa una pérdida sistemática en la diversidad local, es decir, en la diversidad de especies presentes en una área específica o localidad. A pesar de ello, se observa que la composición de las comunidades de especies en diferentes localidades cambia de manera consistente a lo largo del tiempo, superando las predicciones de los modelos nulos.

En este contexto, y de acuerdo con Radeloff *et al.* (2015), la evaluación global de la *novedad* que se experimenta en la Tierra existe a lo largo de un continuo, siendo mucho mayor en algunos lugares. Además indican que ya existen áreas extensas con alta *novedad* en la actualidad en comparación con principios del siglo XX, y se espera que más áreas presenten este tipo de *novedad* para el año 2050. Para los autores, este fenómeno puede generar una profunda inquietud, ya que tanto la novedad abiótica como la biótica representan un desafío significativo tanto para la ciencia de la ecología como para la práctica de la conservación y la restauración en su esencia. En este contexto, resulta crucial comprender que ni las ciudades ni las áreas silvestres protegidas, ni ningún punto intermedio, pueden mantenerse de manera sostenible si no se aborda la sostenibilidad de todo el paisaje en el cual están insertos (Meine, 2014).

2.3.2 Escenarios de Emisiones, Concentración y Uso de la tierra

2.3.2.1 Escenarios

En 1992, el IPCC publica los primeros *escenarios* mundiales sobre las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y sobre el cambio climático (IPCC, 2000). Según la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, MEA)* (MEA, 2005, p. 603), la definición de *escenarios* es:

“A plausible and often simplified description of how the future may develop, based on a coherent and internally consistent set of assumptions about key driving forces (e.g., rate of technology change, prices) and relationships. Scenarios are neither predictions nor projections and sometimes may be based on a ‘narrative storyline’. Scenarios may include projections but are often based on additional information from other sources”.

Un *escenario* está compuesto por una narrativa descriptiva y un conjunto de medidas cuantificadas del cómo podrían desarrollarse cambios futuro plausibles, basada en un conjunto coherente e internamente consistente de supuestos sobre los impulsores clave, que incluyen, entre otros, el Producto Interno Bruto (PIB), la demografía (la edad, la fertilidad, la mortalidad, la migración y las transiciones educativas), la urbanización, los procesos económicos, la productividad total de los factores (el capital físico, el empleo y el capital humano), los recursos energéticos y de combustibles fósiles, la innovación tecnológica, la gobernanza, el estilos de vida, los ecosistemas, los servicios ecosistémicos y las proyecciones de desarrollo humano y relaciones entre estos impulsores (Rounsevell y Metzger, 2010; O'Neill *et al.*, 2014; Dellink *et al.*, 2017; Jiang y O'Neill, 2017; Samir y Lutz, 2017). Los *escenarios* también pueden ser definidos solo por impulsores geofísicos, como emisiones o abundancias de gases de efecto invernadero, aerosoles y precursores de aerosoles o patrones de uso de la tierra (Chen *et al.*, 2021).

Según Moss *et al.* (2010), es importante destacar que los *escenarios* no son predicciones ni pronósticos; en cambio, son una herramienta para evaluar riesgos y vulnerabilidades frente al cambio climático. Su objetivo según los autores, es investigar algunas de las preguntas más desafiantes e importantes que enfrenta la comunidad global, ofreciendo una investigación de *qué pasaría si*, brindando una perspectiva sobre las implicaciones de diversos desarrollos y acciones. En ese contexto, para Riahi *et al.* (2017) los *escenarios* han sido muy importantes para lograr la integración entre diferentes grupos de investigación y sociedad, proporcionando una base común para la exploración de políticas de mitigación, impactos, opciones de adaptación y cambios en el sistema físico de la Tierra.

En el AR6 del IPCC, también se evalúan los futuros climáticos. El WGI del IPCC investiga el potencial cambio climático futuro principalmente evaluando las simulaciones de modelos climáticos globales utilizando *escenarios de emisiones, concentración y uso de la tierra* que provienen de la comunidad del WGIII del IPCC. En esta ocasión, los *escenarios* utilizados abarcan un nuevo marco de diversos *escenarios de referencia o futuros de referencia* hipotéticos que podrían desarrollarse en ausencia de políticas climáticas adicionales, para facilitar el análisis integrado de los futuros impactos, vulnerabilidades, adaptación y mitigación del clima. Estos *escenarios de referencia* se originan a partir de un análisis exhaustivo de mitigación a partir de una amplia variedad de impulsores de desarrollo socioeconómicos posibles e internamente consistentes, como el crecimiento poblacional, el desarrollo tecnológico y el desarrollo económico, y su amplio espectro de implicaciones energéticas, de uso de la tierra y de emisiones asociadas (Riahi *et al.*, 2017).

En el AR6 IPCC, se analizan los escenarios de mitigación desarrollados por Riahi *et al.* (2017), un equipo de investigadores en el campo de la climatología y la modelación socioeconómica. En estos escenarios se exploran ejecuciones, entre otros objetivos, para un 3.4 W/m^2 (nivel intermedio de forzamiento radiativo, aproximadamente $550 \text{ ppm CO}_2\text{-e}$). Explorar este objetivo es particularmente relevante para la política climática internacional, ya que aborda directamente las discusiones sobre los escenarios y la viabilidad del objetivo de 2°C . Por otro lado, los objetivos establecidos en el *Acuerdo de París* de 1.5°C , bajo la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC), han renovado la atención sobre la importancia de explorar niveles de temperatura aún más bajos que 2°C , en particular, un límite a largo plazo de 1.5°C . No obstante, los autores señalan que estos avances son demasiado recientes para ser incorporados en los escenarios actuales, pero subrayan que se considerarán en futuros trabajos.

Los principales escenarios considerados en el AR6 IPCC son un subconjunto de escenarios de Riahi *et al.* (2017), utilizando el marco de *Trayectorias Socioeconómicas Compartidas* (*Shared Socio-economic Pathways*, SSPs). Las narrativas de los SSPs comprenden una descripción textual de cómo podría desarrollarse el futuro en términos de tendencias sociales y económicas, en las cuales se pueden evaluar los impactos del cambio climático en la sociedad y las consecuencias de enfoques políticos alternativos (O'Neill *et al.*, 2014). No obstante, al menos en la comunidad WGI, el término *escenario SSP* ahora se utiliza más ampliamente para referirse directamente a los futuros escenarios de emisiones y concentración que resultan de combinar estas trayectorias de desarrollo socioeconómico con supuestos de mitigación del cambio climático (Chen *et al.*, 2021).

2.3.2.2 Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs)

Según Kriegler *et al.* (2012, p. 808), la definición de SSPs es:

“A ‘shared socio-economic pathway’ (SSP) as consisting of a parsimonious narrative capturing the key dimensions of the underlying global scale socio-economic development and a collection of quantitative projections for global socio-economic boundary conditions”.

Según O'Neill *et al.* (2014, p. 389), la definición de SSPs es:

“The SSPs describe plausible alternative trends in the evolution of society and natural systems over the 21st century at the level of the world and large world regions”.

Los SSPs están compuestos por dos elementos: (i) una conjunto de narrativa cualitativas que describen futuros sociales y (ii) un conjunto de medidas cuantificadas de desarrollo a escalas agregadas y/o espacialmente resueltas (O'Neill *et al.*, 2017). Los SSPs son vías socioeconómicas *de referencia* compartidas que reflejarán *supuestos de referencia* socioeconómicos, describiendo un mundo sin una política climática futura, en este sentido, no asumen cambios climáticos, impactos climáticos ni nuevas políticas climáticas (Kriegler *et al.*, 2012). La intención es que, al no incorporar tales efectos, los SSPs puedan ser utilizados con mayor facilidad por otros investigadores en una amplia gama de estudios para evaluar cómo diferentes niveles de cambio climático y tipos de políticas afectan las condiciones socioeconómicas y ambientales *de referencia* descritas en los SSPs (O'Neill *et al.*, 2014).

Para O'Neill *et al.* (2014), el objetivo final del proceso general de los cinco SSPs es producir *escenarios integrados* que incluyan de manera efectiva condiciones socioeconómicas y ambientales afectadas tanto por el cambio climático como por la política climática; desde un calentamiento potencialmente por debajo del mejor estimado de 1.5°C hasta más de 4°C de calentamiento para 2100 (Chen *et al.*, 2021). Esto implica que, aunque las SSPs no incluyan directamente los efectos reales del cambio climático ni las políticas, se basan en un conjunto coherente y consistente de supuestos sobre impulsores clave que afectan al desarrollo socioeconómico. En resumen, las SSPs proporcionan el escenario socioeconómico de fondo en diferentes modelos climáticos y de impacto climático para proyectar cómo el cambio climático y las políticas climáticas específicas podrían afectar a la sociedad y al medio ambiente en el futuro.

A continuación, se presenta un resumen conciso de las cinco narrativas globales de los SSPs. Estas narrativas y sus proyecciones climáticas son elaboradas a partir de diversos modelos de evaluación integrada, y tienen como objetivo su implementación en modelos climáticos para la realización de proyecciones climáticas dentro del marco del CMIP6.

Breve resumen según Riahi *et al.* (2017, p. 157; *traducción propia*), no obstante, O'Neill *et al.* (2017) ofrecen una descripción más detallada y una discusión de las narrativas:

“SSP1

Sostenibilidad - Tomando el Camino Verde

(Bajos desafíos para la mitigación y adaptación)

El mundo se desplaza gradual pero ampliamente hacia un camino más sostenible, enfatizando un desarrollo más inclusivo que respeta los límites ambientales percibidos. La gestión de los bienes comunes globales mejora lentamente, las inversiones en educación y salud aceleran la transición demográfica, y el énfasis en el crecimiento económico se desplaza hacia un enfoque más amplio en el bienestar humano. Impulsado por un compromiso creciente con el logro de metas de desarrollo, se reduce la desigualdad tanto entre como dentro de los países. El consumo se orienta hacia un crecimiento material bajo y una menor intensidad de recursos y energía.

SSP2

Camino Intermedio

(Desafíos moderados para la mitigación y adaptación)

El mundo sigue un camino en el cual las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no cambian notablemente de los patrones históricos. El crecimiento del desarrollo y los ingresos avanza de manera desigual, con algunos países progresando relativamente bien mientras que otros no cumplen con las expectativas. Las instituciones globales y nacionales trabajan hacia, pero progresan lentamente en alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Los sistemas ambientales experimentan degradación, aunque hay algunas mejoras y en general disminuye la intensidad del uso de recursos y energía. El crecimiento poblacional global es moderado y se estabiliza en la segunda mitad del siglo. La desigualdad de ingresos persiste o mejora solo lentamente y persisten los desafíos para reducir la vulnerabilidad a cambios sociales y ambientales.

SSP3

Rivalidad Regional - Un Camino Escarpado

(Altos desafíos para la mitigación y adaptación)

Un renacimiento del nacionalismo, preocupaciones sobre la competitividad y la seguridad, y conflictos regionales impulsan a los países a enfocarse cada vez más en asuntos domésticos o, como máximo, regionales. Con el tiempo, las políticas se orientan cada vez más hacia temas de seguridad nacional y regional. Los países se centran en lograr metas de seguridad energética y alimentaria dentro de sus propias regiones a expensas de un desarrollo más amplio. Las inversiones en educación y desarrollo tecnológico disminuyen. El desarrollo económico es lento, el consumo es intensivo en materiales y las desigualdades persisten o empeoran con el tiempo. El crecimiento poblacional es bajo en los países industrializados y alto en los países en desarrollo. Una baja prioridad internacional para abordar las preocupaciones ambientales conduce a una fuerte degradación ambiental en algunas regiones.

SSP4

Desigualdad - Un Camino Dividido

(Bajos desafíos para la mitigación, altos desafíos para la adaptación)

Inversiones altamente desiguales en capital humano, combinadas con disparidades crecientes en oportunidades económicas y poder político, llevan a un aumento de las desigualdades y estratificación tanto entre como dentro de los países. Con el tiempo, se ensancha la brecha entre una sociedad conectada internacionalmente que contribuye a sectores intensivos en conocimiento y capital de la economía global, y una colección fragmentada de sociedades de ingresos bajos y poco educadas que trabajan en una economía laboral intensiva en mano de obra y baja tecnología. La cohesión social se degrada y los conflictos y disturbios se vuelven cada vez más comunes. El desarrollo tecnológico es alto en la economía de alta tecnología y sectores. El sector energético globalmente conectado se diversifica, con inversiones tanto en combustibles intensivos en carbono como el carbón y el petróleo no convencional, así como en fuentes de energía baja en carbono. Las políticas ambientales se centran en problemas locales en áreas de ingresos medios y altos.

SSP5

Desarrollo Impulsado por Combustibles Fósiles - Tomando la Autopista

(Altos desafíos para la mitigación, bajos desafíos para la adaptación)

Este mundo deposita una fe creciente en los mercados competitivos, la innovación y las sociedades participativas para producir un progreso tecnológico rápido y el desarrollo del capital humano como el camino hacia el desarrollo sostenible. Los mercados globales están cada vez más integrados. También existen fuertes inversiones en salud, educación e instituciones para mejorar el capital humano y social. Al mismo tiempo, el impulso para el desarrollo económico y social se combina con la explotación de abundantes recursos de combustibles fósiles y la adopción de estilos de vida intensivos en recursos y energía en todo el mundo. Todos estos factores conducen a un crecimiento rápido de la economía global, mientras que la población mundial alcanza su máximo y disminuye en el siglo XXI. Los problemas ambientales locales como la contaminación del aire se gestionan con éxito. Hay confianza en la capacidad para gestionar eficazmente los sistemas sociales y ecológicos, incluida la geoingeniería si fuera necesario”.

En la presente investigación, se utiliza el escenario *histórico* del CMIP6 para predecir los hábitats de distribución de las especies en la actualidad. Este escenario no es un escenario construido en términos de narrativas y supuestos socioeconómicos como los *escenarios SSP*. En su lugar, se fundamenta en la recopilación de observaciones y datos históricos reales. Además, se seleccionan los *escenarios SSP2-4.5* y *SSP5-8.5* del conjunto de *escenarios SSP* para proyectar los hábitats de distribución de las especies para el año 2070. Los escenarios *SSP2-4.5* y *SSP5-8.5* son modelos priorizados utilizados en las simulaciones de *Nivel 1* del *Proyecto de Intercomparación de Modelos de Escenarios (Scenario Model Intercomparison Project, ScenarioMIP)*, que constituye la actividad central dentro del marco del CMIP6 (Tebaldi *et al.*, 2021).

Los datos necesarios para estas predicciones y proyecciones climáticas se adquieren del conjunto de datos *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections (NEX-GDDP-CMIP6)* de Thrasher *et al.* (2012, 2022). Con el objetivo de implementar los tres escenarios seleccionados (*histórico*, *SSP2-4.5* y *SSP5-8.5*) en modelos climáticos, se tomaron en consideración dos GCMs, a saber: el *Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2 (Community Earth System Model Version 2, CESM2)* desarrollado por Danabasoglu *et al.* (2020) y el *Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6 (Model for Interdisciplinary Climate Research 6, MIROC6)* desarrollado por Tatebe *et al.* (2019).

2.3.3 Conjunto de Datos NASA *Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections* (NEX-GDDP-CMIP6)

El conjunto de datos de *Proyecciones Diarias Mundiales Desagregadas de la NASA* (*NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections*, NEX-GDDP-CMIP6) de Thrasher *et al.* (2012, 2022), está compuesto por escenarios climáticos globales desagregados derivados de las ejecuciones del *Modelo de Circulación General* (*General Circulation Model*, GCM), desarrollado en apoyo al AR6 IPCC en el marco del CMIP6 (Eyring *et al.*, 2016). Este conjunto de datos incluye 35 GCMs y dos de los cuatros *escenarios SSP* del siglo XXI de *Nivel 1* (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) (O'Neill *et al.*, 2016; Meinshausen *et al.*, 2020), proyecciones desagregadas de las ejecuciones del modelo de *ScenarioMIP*, para las cuales se produjeron y distribuyeron escenarios diarios a través de la *Federación de Redes del Sistema Terrestre* (*Earth System Grid Federation*, ESGF) (O'Neill *et al.*, 2016; Tebaldi *et al.*, 2021; Thrasher *et al.*, 2022).

Los productos desagregados, componentes más pequeños, específicos y detallados de los *escenarios SSP*, se generaron utilizando una variante diaria del método mensual de *Desagregación Espacial con Corrección de Sesgos* (*Bias-Correction Spatial Disaggregation*, BCSD), descrito por Wood *et al.* (2002, 2004), con una resolución horizontal de 1/4 grado (Thrasher *et al.*, 2022).

Según Thrasher *et al.* (2021), mencionan que el método de BCSD, utilizado para generar el conjunto de datos NEX-GDDP-CMIP6, es un algoritmo de ajuste estadístico desarrollado específicamente para abordar las limitaciones de las salidas globales de los GCMs (Wood *et al.*, 2002; Wood *et al.*, 2004; Maurer y Hidalgo, 2008; Thrasher *et al.*, 2012). Thrasher *et al.* (2021, s.p.; *traducción propia*), afirman que el “*algoritmo compara las salidas del GCM con observaciones climáticas correspondientes durante un período común y utiliza la información derivada de esta comparación para ajustar las proyecciones climáticas futuras, de manera que sean progresivamente más consistentes con los registros climáticos históricos y, presumiblemente, más realistas para el dominio espacial de interés. Además, el algoritmo utiliza el detalle espacial proporcionado por conjuntos de datos derivados de observaciones para interpolar las salidas del GCM a celdas de la cuadrícula de mayor resolución*”.

El conjunto de datos NEX-GDDP-CMIP6 contiene proyecciones históricas y futuras desagregadas para el período de 1950 a 2100. El experimento *histórico* se reduce de escala durante los años 1950 a 2014, mientras que los experimentos *escenarios SSP* se reducen de escala durante los años 2015–2100 (Thrasher *et al.*, 2022). Cada una de estas proyecciones climáticas se desagrega a una resolución espacial de 0.25 grados x 0.25 grados (aproximadamente 27.830 metros), lo que da como resultado un tamaño de archivo de más de 18 TB (1 TB = 1012Bytes) (Thrasher *et al.*, 2021).

Según Thrasher *et al.* (2021), el propósito de este conjunto de datos es proporcionar un conjunto de proyecciones de cambio climático desagregadas a nivel global, en alta resolución, a escalas locales y regionales, y corregidas por sesgo, que pueden utilizarse para evaluar los impactos del cambio climático en procesos sensibles a gradientes climáticos a una escala más fina y los efectos de la topografía local en las condiciones climáticas. De esta manera, este conjunto de datos, como lo señalan los autores, contribuye a mejorar la comprensión pública de los posibles patrones climáticos futuros a la escala espacial de pueblos, ciudades, municipios y cuencas hidrográficas.

2.3.3.1 Supuestos y Limitaciones

De acuerdo con Thrasher *et al.* (2021), el enfoque BCSD utilizado en la generación del conjunto de datos NEX-GDDP-CMIP6 a escala reducida *“asume inherentemente que los patrones espaciales relativos observados desde 1960 hasta 2014 permanecerán constantes bajo el cambio climático futuro. Aparte de la mayor resolución espacial y la corrección de sesgos, este conjunto de datos no añade información más allá de lo contenido en los escenarios originales de CMIP6, y conserva la frecuencia de períodos de valores anómalamente altos y bajos (es decir, eventos extremos) dentro de cada escenario individual”* (s.p.; traducción propia).

2.3.4 Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2 (CESM2)

El *Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2 (Community Earth System Model Version 2, CESM2)* representa la más reciente generación de modelos climáticos y de sistemas terrestres acoplados, desarrollados como un esfuerzo colaborativo entre científicos, ingenieros de software y estudiantes del *Centro Nacional de Investigación Atmosférica (National Center for Atmospheric Research, NCAR)*, universidades y otras instituciones de investigación (Danabasoglu *et al.*, 2020).

CESM2 fue lanzado a la comunidad en junio de 2018 y participa en aproximadamente 20 *Proyectos de Intercomparación de Modelos (Model Intercomparison Projects, MIPs)* dentro de CMIP6, incluido el *ScenarioMIP*, que solicita simulaciones de proyecciones futuras basadas en posibles escenarios alternativos de emisiones, concentraciones y uso de la tierra en los *escenarios SSP*, como SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (O'Neill *et al.*, 2016).

El CESM2 se basa en los éxitos de sus predecesores. El primer modelo climático acoplado, que incluye procesos químicos, biogeoquímicos, atmosféricos y oceánicos, un modelo de biología de superficie terrestre e hidrología básica del suelo, y un modelo de dinámica y termodinámica del hielo marino, es el *Modelo del Sistema Climático, versión 1 (Climate System Model, version 1, CSM1)* (Boville y Gent, 1998). Este esfuerzo es seguido por el *Modelo del Sistema Climático de la Comunidad Versión 2 (Community Climate System Model Version 2, CCSM2)* (Kiehl y Gent, 2004), el CCSM3 (Collins *et al.*, 2006) y el CCSM4 (Gent *et al.*, 2011). El modelo es renombrado como el *Modelo del Sistema Terrestre de la Comunidad (Community Earth System Model, CESM1)*, una herramienta comunitaria flexible y extensible utilizada para investigar una amplia gama de interacciones en el sistema terrestre a lo largo de múltiples escalas de tiempo y espacio. En él se incluyen estas y otras capacidades, como la simulación de ciclos biogeoquímicos, incluyendo los de carbono y nitrógeno, diversas opciones de química atmosférica, la dinámica global de la vegetación y los cambios en el uso del suelo debido a actividades antropogénicas, un módulo de biogeoquímica marina, un modelo de capa de hielo dinámica (Capa de Hielo de Groenlandia), nuevos procesos químicos y físicos para los efectos directos e indirectos de los aerosoles, y una atmósfera que se extiende hasta la termosfera inferior (Hurrell *et al.*, 2013).

Las versiones del CCSM y el CESM han estado a la vanguardia de los esfuerzos nacionales e internacionales para comprender de manera más profunda los procesos y mecanismos responsables de la variabilidad y el cambio climático. Han sido empleadas en una variedad de estudios que se han incorporado como contribuciones en las distintas fases del *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP)* (Danabasoglu *et al.*, 2020). De acuerdo con la evaluación realizada por Knutti, Masson y Gettelman (2013), se han identificado los modelos CCSM3, CCSM4 y CESM1 como algunos de los modelos climáticos más realistas del mundo, basándose en algunas métricas que comparan las salidas del modelo con conjuntos de datos basados en observaciones actuales. Los autores mencionan que “*sorprendentemente, las versiones del modelo CESM1 siguen estando cercanas a CCSM4, aunque la mayoría de las principales parametrizaciones cambiaron al pasar de CCSM4 a CESM1*” (p. 1195). Además, CESM1 también se ha utilizado en actividades clave para avanzar en la comprensión del sistema climático y su variabilidad y predictibilidad, complementando las contribuciones de CESM1 a los CMIP con otros esfuerzos científicos impulsados por la comunidad CMIP (Danabasoglu *et al.*, 2020).

Danabasoglu *et al.* (2020) desarrollaron la versión CESM2, como un modelo de código abierto, con numerosas mejoras sustanciales en ciencia, infraestructura y capacidades en comparación con su predecesora, CESM1. El CESM2 consta de modelos de océano, atmósfera (tanto a baja como a alta altitud con química completa), tierra, hielo marino, hielo terrestre, ríos y ondas, que intercambian estados y flujos a través de un acoplador.

2.3.5 Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6 (MIROC6)

El *Modelo para Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima (Model for Interdisciplinary Research on Climate, MIROC)*, un modelo climático japonés, ha sido desarrollado en colaboración con el *Centro para la Investigación del Sistema Climático (Center for Climate System Research, CCSR)*, que es el precursor de una parte del *Instituto de Investigación de la Atmósfera y el Océano (Atmosphere and Ocean Research Institute, AORI)* de la Universidad de Tokio, la *Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología de los Mares-Tierra (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, JAMSTEC)* y el Instituto Nacional de Estudios Ambientales (*National Institute for Environmental Studie, NIES*) (Tatebe *et al.*, 2019).

MIROC ha participado en la iniciación de los modelos climáticos acoplados globales de última generación, conocidos como *Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano ((Atmosphere-Ocean General Circulation Models, AOGCMs)*, que abarcan una amplia gama de aspectos de la variabilidad y el cambio climático. Esta participación se remonta a finales de 2003 y se ha extendido a través de CMIP3, CMIP5 (Meehl *et al.*, 2007b; Taylor, Stouffer y Meehl, 2012) y CMIP6 (Eyring *et al.*, 2016).

La sexta versión del MIROC (MIROC6), está compuesto por tres sub-modelos: atmósfera, tierra y hielo marino-océano. Un modelo de circulación general atmosférico se basa en los estudios climáticos de CCSR-NIES *Modelo de Circulación General Atmosférica, (Atmospheric General Circulation Model, AGCM)* (Numaguti *et al.*, 1997). Un modelo de superficie terrestre se basa en el *Modelo de Interacción Superficial y Escorrentía de Tratamientos Mínimos Avanzados (Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff, MATSIRO)*, para estudios climáticos a escalas globales y regionales (Takata, Emori y Watanabe, 2003), que incluye una red global de canales de ríos desde un modelo integral para la validación de la hidrología de la superficie terrestre y el flujo de ríos (Oki y Sud, 1998), basado en el *Modelo para la Integración de Trayectorias de Escorrentía Total (Total Runoff Integrating Pathways, TRIP)*, un modelo global de enrutamiento de ríos que puede ayudar a aislar las cuencas fluviales, el transporte intercuenas de agua a través de los cauces de los ríos, así como recolectar y encauzar la escorrentía hacia las desembocaduras de los ríos principales (Ngo-Duc *et al.*, 2007); y un módulo de lago en el que se considera la difusión térmica unidimensional y la conservación de masa (Tatebe *et al.*, 2019). El modelo de hielo marino-océano se basa en el *CCSR Modelo de Componente Océánico (Ocean Component Model, COCO)* (Hasumi, 2006). MIROC6 fue lanzado a la comunidad en 2017 y participa en aproximadamente 20 MIPs dentro de CMIP6, incluido el *ScenarioMIP*, que solicita simulaciones de proyecciones futuras basadas en posibles escenarios alternativos de emisiones, concentraciones y uso de la tierra en los *escenarios SSP*, como SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (O'Neill *et al.*, 2016).

2.4 Google Earth Engine (GEE) y Conjuntos de Datos a Escala Planetaria

Las supercomputadoras y los sistemas de computación de alto rendimiento están aumentando en abundancia debido a la creciente cantidad y calidad de conjuntos de datos y bases de datos (Gorelick *et al.*, 2017). Este aumento se debe en gran medida a las redes de observación globales y permanentes, así como a los satélites (Cossu *et al.*, 2010). Por ejemplo, el NASA *Earth Exchange* (NEX) forma parte de la búsqueda de nuevas herramientas y marcos de investigación multidimensionales, que combinan la supercomputación de última generación, el modelado de sistemas terrestres y los datos de teledetección de la *Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio* (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*) y otras agencias (Nemani *et al.*, 2011). Asimismo, la computación en la nube a gran escala está disponible de manera universal.

Al mismo tiempo, los archivos de datos de teledetección a escala de *petabytes* se han vuelto de acceso gratuito y provienen de múltiples agencias gubernamentales de los Estados Unidos (EEUU), incluyendo la NASA, el *Servicio Geológico de EEUU* (*U.S. Geological Survey, USGS*), la *Administración Nacional Oceánica y Atmosférica* del Departamento de Comercio de los EEUU (*National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA*), así como la *Agencia Espacial Europea* (*European Space Agency, ESA*) (Gorelick *et al.*, 2017).

El USGS proporciona conjuntos de datos geo- y biofísicos y productos de imágenes de alta calidad de forma gratuita del Programa *Landsat*, que facilitan la reconstrucción de la historia de la superficie de la Tierra desde 1972 al presente, documentando tanto los cambios antropogénicos como los naturales durante un período en el que la población se duplicó y los impactos del cambio climático se hacen notables (Woodcock *et al.*, 2008; Loveland y Dwyer, 2012). La ESA, siguiendo la política de acceso gratuito y abierto definida en el Reglamento (UE) N° 377/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de abril de 2014, que establece el Programa *Copernicus*, y en el Reglamento Delegado (UE) N° 1159/2013 de la Comisión de 12 de julio de 2013, proporciona acceso completo, abierto y gratuito a los datos e información de *Copernicus*. Esta acción se alinea con los principios internacionales de intercambio de datos del *Grupo de Observación de la Tierra* (*Group for Earth Observation, GEO*), una red global única que conecta instituciones gubernamentales, académicas y de investigación, proveedores de datos, empresas, ingenieros, científicos y expertos, con el fin de crear soluciones innovadoras a los desafíos globales en una era de crecimiento exponencial de datos, desarrollo humano y cambio climático, que trascienden las fronteras nacionales y disciplinarias (GEO, s.f.).

De igual manera, se han desarrollado una amplia variedad de herramientas para facilitar el procesamiento a gran escala de datos geoespaciales, lo cual ha transformado el panorama del aprendizaje automático espaciotemporal (Hughes *et al.*, 2015). Algunos ejemplos incluyen *TerraLib*, un software de código abierto que proporciona un entorno rico y potente para el desarrollo de investigaciones y el uso de múltiples herramientas, datos y algoritmos de *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* (Câmara *et al.*, 2000); *Hadoop*, un software de código abierto con un enfoque para ordenar una serie de datos o informaciones de acuerdo a un criterio común, para facilitar su consulta y análisis en datos espaciales almacenados en el *Sistema de Archivos Distribuido (Distributed File System, HDFS)* (Whitman *et al.*, 2014); y *GeoSpark*, un software de código abierto en clúster en memoria para el procesamiento de datos espaciales a gran escala, algunos experimentos muestran un mejor rendimiento en tiempo de ejecución que sus contrapartes basadas en *Hadoop* (Yu, Wu y Sarwat, 2015).

Para Gorelick *et al.* (2017), aprovechar al máximo estos recursos desafortunadamente aún requiere un considerable conocimiento técnico y esfuerzo. Los autores subrayan un obstáculo importante es la gestión básica de Tecnología de la Información (TI), que involucra la adquisición y almacenamiento de datos; el análisis de formatos de archivo complejos; la gestión de bases de datos, la asignación de máquinas, los trabajos y las colas de trabajos, las CPUs, las GPUs y las redes. En este sentido, los autores señalan que estos conocimientos y obstáculos técnicos y prácticos pueden limitar la capacidad de muchos investigadores y usuarios operativos para aprovechar estas herramientas y marcos de investigación multidimensionales. Esto, a su vez, restringe el acceso a la información contenida en numerosos conjuntos de datos de teledetección únicamente a aquellos investigadores en el campo que cuentan con acceso especial a sistemas y recursos informáticos de supercomputadoras y computación de alto rendimiento.

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma a escala planetaria en la nube desarrollada por *Google*, en la cual se ofrece acceso a un catálogo de datos de varios *petabytes* de imágenes satelitales y conjuntos de datos geoespaciales con capacidades de análisis a escala planetaria a través de una *Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface, API)* y un *Entorno de Desarrollo Interactivo (Interactive Development Environment, IDE)*. Estos recursos permiten la creación rápida de prototipos y la visualización de resultados de manera eficiente (GEE, s.f.).

GEE facilita el acceso a los sistemas y recursos informáticos de supercomputadoras y computación de alto rendimiento de *Google* para procesar conjuntos de datos geoespaciales muy grandes, abordando una variedad de problemas de gran impacto en la sociedad, incluyendo la deforestación, la sequía, los desastres naturales, las enfermedades, la seguridad alimentaria, la gestión del agua, el monitoreo climático y la protección ambiental, sin enfrentar obstáculos significativos de TI (Gorelick *et al.*, 2017).

En la presente investigación, la modelización de la distribución de las especies, se lleva a cabo utilizando la plataforma GEE versión 1.0.0. Se selecciona GEE, principalmente, por ser la única en su campo como una plataforma integrada diseñada para empoderar no solo a los científicos tradicionales de teledetección, sino también a una audiencia mucho más amplia que carece de la capacidad técnica necesaria para utilizar supercomputadoras tradicionales o sistemas y recursos de computación en la nube a gran escala (Gorelick *et al.*, 2017).

A continuación, se describen los conjuntos de datos geoespaciales disponibles en GEE, utilizados en esta investigación, todos los cuales desempeñan un papel fundamental en el marco de la presente investigación:

2.4.1 Datos Medioambientales

2.4.1.1 Datos de Elevación, Pendiente y Orientación de SRTM

La *Misión de Topografía Radar del Transbordador (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)*, llevada a cabo durante 11 días en febrero de 2000 a bordo del *Transbordador Espacial Endeavour (Space Shuttle Endeavour, STS-99)*, generó un modelo digital de elevación de la Tierra con mayor resolución y cobertura global, empleando la técnica de interferometría de radar (Farr *et al.*, 2007). Esta iniciativa fue el resultado de una colaboración conjunta entre la NASA, la *Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (National Geospatial-Intelligence Agency, NGA)* del *Departamento de Defensa de los Estados Unidos (U.S. Department of Defense, DOD)*, el *Centro Aeroespacial Alemán (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR)* y la *Agencia Espacial Italiana (Agenzia Spaziale Italiana, ASI)* (Farr y Kobrick, 2000; Werner, 2001).

Cada mosaico de datos del SRTM es el resultado de la combinación y promedio de las elevaciones capturadas en todos los puntos dentro de dicho mosaico. Esta representación abarca aproximadamente el 80% de la superficie terrestre global (NASA, 2000).

El producto correspondiente a la Versión 3.0 del SRTM, el cual posee una resolución espacial de 1 segundo de arco (~30 m), ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *NASA SRTM Digital Elevation 30m*, y es provisto por el *Laboratorio de Propulsión a Chorro* de la NASA (*NASA Jet Propulsion Laboratory, JPL*). Este conjunto de datos sobre elevación permite derivar cálculos de pendiente y orientación que desempeñan un papel fundamental en el marco de la presente investigación. Cabe destacar que los datos de pendiente y orientación no son originales del SRTM, sino que se derivan del modelo digital de elevación proporcionados por este.

El principal objetivo detrás del desarrollo de los datos de la Versión 3.0 fue la eliminación de áreas sin información que se encontraban presentes en versiones anteriores de los datos del SRTM (NASA, 2000). Para lograr esto, se sometió este conjunto de datos a un proceso de llenado de vacíos, utilizando información proporcionada por el *Modelo Global de Elevación Digital (Global Digital Elevation Model 2, GDEM2)* del *Radiómetro de Emisión y Reflexión Térmica Espacial Avanzado (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, ASTER)*, el *Conjunto de Datos de Elevación de Terreno de Resolución Múltiple Global (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data, GMTED) 2010* del USGS y el *Conjunto de Datos de Elevación Nacional (National Elevation Dataset, NED)* del USGS. Esto se diferencia de otras versiones que presentaban áreas sin información o que habían sido llenadas utilizando fuentes comerciales (NASA, USGS y JPL-Caltech, s.f.).

2.4.2 Variables Bioclimáticas

2.4.2.1 Variables Bioclimáticas de *WorldClim* BIO V1

El conjunto de datos sobre las variables bioclimáticas *WorldClim* BIO de la Versión 1.0 (V1), superficies climáticas interpoladas, fue desarrollado por Hijmans *et al.* (2005), en el Museo de Zoología de Vertebrado de la Universidad de California-Berkeley (UC Berkeley), en colaboración con el Dr. Peter Jones y el Dr. Andrew Jarvis, ambos del *Centro Internacional de Agricultura Tropical (International Centre for Tropical Agriculture, CIAT)* y con la Dra. Karen Richardson del *Rainforest CRC del Centro de Investigación Cooperativa para la Ecología y Gestión de los Bosques Tropicales (Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management, CRC-TREM)* (UC Berkeley, s.f.). La ejecución del análisis y la interpolación de los datos, se apoyó en el algoritmo de lámina delgada (*thin-plate smoothing spline*) del programa ANUSPLIN-SPLINA, en el cual se utilizó como variables independientes la latitud, la longitud y la altitud (Hijmans *et al.*, 2005).

Estas variables bioclimáticas, identificadas como predictores bioclimáticos, resaltan aquellas condiciones climáticas que tienen una estrecha relación con la fisiología de las especies. Estos predictores capturan información acerca de las condiciones anuales, como la temperatura media anual, las precipitaciones anuales y el rango anual de temperatura y precipitación. Además, también consideran las condiciones climáticas estacionales promedio y la variabilidad interanual en la estacionalidad, incluyendo la temperatura de los meses más fríos y más cálidos, así como las precipitaciones de los trimestres más húmedos y más secos (O'Donnell e Ignizio, 2012).

El producto correspondiente a la Versión 1.0 del *WorldClim* BIO, el cual posee una resolución espacial de 30 segundos de arco (~1 km), ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *WorldClim* BIO V1, y es provisto por la UC Berkeley (UC Berkeley, s.f.). Según Hijmans *et al.* (2005) este conjunto de datos incluye información sobre las siguientes variables climáticas: (*bio01*) Temperatura media anual; (*bio02*) Rango diurno medio; (*bio03*) Isotermia (*bio02/bio07*); (*bio04*) Estacionalidad de la temperatura; (*bio05*) Temperatura máxima del mes más cálido; (*bio06*) Temperatura mínima del mes más frío; (*bio07*) Rango anual de temperaturas; (*bio08*) Temperatura media del trimestre más húmedo; (*bio09*) Temperatura media del trimestre más seco; (*bio10*) Temperatura media del trimestre más cálido; (*bio11*) Temperatura media del trimestre más frío; (*bio12*) Precipitación anual; (*bio13*) Precipitación del mes más húmedo; (*bio14*) Precipitación del mes más seco; (*bio15*) Estacionalidad de las precipitaciones; (*bio16*) Precipitación del trimestre más húmedo; (*bio17*) Precipitaciones del trimestre más seco; (*bio18*) Precipitación del trimestre más cálido; y (*bio19*) Precipitaciones del trimestre más frío.

2.4.2.2 Variable de Precipitación con Datos de Estaciones *in situ* de CHIRPS

Desde 1999, los científicos del USGS y del *Centro de Riesgos Climáticos (Climate Hazards Center, CHC)* han desarrollado técnicas para producir mapas de precipitaciones, especialmente en áreas donde los datos de superficie son escasos. El conjunto de datos *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)* fue desarrollado en colaboración con científicos del *Centro de Observación y Ciencias de los Recursos Terrestres (Earth Resources Observation and Science, EROS)* del USGS con el fin de proporcionar datos completos, confiables y actualizados para diversos objetivos de alerta temprana, como el análisis de tendencias, la monitorización de sequías estacionales y la cuantificación de los impactos hidrológicos de la disminución de la precipitación y el aumento de las temperaturas del aire (CHIRPS, s.f.). Fue desarrollado para espaldar la *Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambrunas (Famine Early Warning Systems Network, FEWS NET)* de la *Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (U.S. Agency for International Development, USAID)* (Funk *et al.*, 2015).

El conjunto de datos de CHIRPS, que representa la variable de precipitación con datos de estaciones *in situ*, se basa en enfoques previos de técnicas de *interpolación inteligente* (Willmott y Matsuura, 1995; Willmott y Robeson, 1995) y estimaciones de precipitación de alta resolución y largo período de registro basadas en observaciones de *Duración de Nubes Frías (Cold Cloud Duration, CCD)* infrarrojas (Funk *et al.*, 2015).

El producto correspondiente a la Versión 2.0 del CHIRPS, un conjunto de datos de precipitación cuasi-global (50°S-50°N) con más de 35 años de registros, el cual posee una alta resolución espacial de 0.05° (~ 5566 m), con datos diarios, pentadecadales y mensuales *in situ*, ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *CHIRPS Pentad V2.0 Final*, y es provisto por USGS y CHC (USGS y CHC, s.f.).

2.4.3 Variables Medioambientales relacionadas con la Cobertura Terrestre

2.4.3.1 Variables Medioambientales de CGLS-LC100 Collection 3

Como parte del Servicio Europeo de Copernicus, cuyo objetivo es proporcionar un monitoreo global sistemático de la superficie terrestre de la Tierra, el *Servicio Global de Cobertura del Suelo de Copernicus (Copernicus Global Land Service, CGLS)*, lanzó mapas anuales de cobertura del suelo a nivel mundial con una resolución espacial de 100 m a partir de 2015 (Buchhorn *et al.*, 2020).

El primer mapa de cobertura del suelo del CGLS (CGLS-LC100 *Collection 1*) a 100 m, se proporcionó para el año de referencia 2015 en el continente africano en julio de 2017 y se derivó de una serie temporal de 100 m del instrumento de vegetación a bordo del satélite *PROyecto para la Autonomía a Bordo (PROject for On-Board Autonomy, PROBA)* (PROBA-V) (François *et al.*, 2014; Dierckx *et al.*, 2016; Buchhorn *et al.*, 2020), una base de datos de sitios de entrenamiento de cobertura terrestre de alta calidad y varios conjuntos de datos auxiliares (Copernicus, s.f.a). Basado en el éxito de este producto de demostración para África, que mostró alta calidad con una precisión general del 74.3% y concordancia con otros mapas continentales de cobertura del suelo (Tsendbazar *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2019; Pérez-Hoyos, Udías, y Rembold, 2020; Nabil *et al.*, 2020), la *Collection 2* del producto CGLS-LC100 se lanzó en mayo de 2019, ampliando el mapa a una cobertura global para el año de referencia 2015 y alcanzando cerca del 80% o más de precisión general para cada continente (Buchhorn *et al.*, 2020).

La tercera edición de las capas CGLS-LC100 (*Collection 3*) abarca el año de referencia 2015 y los cambios anuales en la cobertura del suelo desde 2016 hasta 2019 en todo el mundo (Buchhorn *et al.*, 2020). La continuidad del servicio a partir de 2020 en adelante es factible mediante la combinación de datos externos de alta calidad y varias metodologías individuales probadas para el procesamiento de datos en la misión del *Sistema de Observación de la Tierra (Earth Observation System, EOS)* de los satélites *Sentinel-1* y *Sentinel-2* en la línea de procesamiento, o retrocediendo antes de 2015 a través del uso de datos EOS de Landsat (Copernicus, s.f.b; Buchhorn *et al.*, 2020).

El producto correspondiente a la *Collection 3.0* del CGLS-LC100, un conjunto de datos de variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre, ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3*, y es provisto por *Copernicus* (Copernicus, s.f.a).

Según Buchhorn *et al.* (2020):

“La capa de mapa discreto CGLS-LC100 (...) se complementa con la capa de tipos de bosque CGLS-LC100, que muestra la distribución de bosques de hoja perenne de hojas aciculares y de hojas anchas, así como de bosques de hoja caduca de hojas aciculares y de hojas anchas. Una novedad del producto CGLS-LC100 es la generación de campos continuos de vegetación que proporcionan estimaciones proporcionales de la cobertura vegetal para todas las clases base, es decir, árboles, matorrales, vegetación herbácea, tierras de cultivo, musgo y líquenes, suelo desnudo/vegetación escasa, nieve y hielo permanentes, áreas construidas y cobertura de agua permanente. Estas nueve capas se complementan con una capa de fracción de cobertura de agua estacional que indica el área de agua estacional dentro de un píxel” (p. 7; traducción propia). “Este esquema de clasificación continua puede representar áreas de cobertura del suelo heterogéneas de manera más precisa que el esquema de clasificación estándar y, como tal, se puede adaptar para su uso en aplicaciones como el monitoreo de bosques, la gestión de pastizales, el monitoreo de cultivos, la biodiversidad y la conservación, el monitoreo del medio ambiente y la seguridad en África, el modelado climático, etc.” (p. 11; traducción propia).

2.4.4 Variables Medioambientales relacionadas con la Cobertura Terrestre y los Factores Biogeoquímicos

2.4.4.1 Variables Medioambientales de MCD12Q1.061 MODIS

Según Friedl y Sulla-Menashe (2022, s.p.; traducción propia):

“El conjunto de datos de tipos de cobertura del suelo MCD12Q1 versión 6.1 del Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) combinado de Terra y Aqua proporciona tipos de cobertura del suelo global a intervalos anuales (2001-2022). (...) Los tipos de cobertura del suelo se derivan de los esquemas de clasificación del Programa Internacional Geosfera-Biosfera (Geosphere-Biosphere Programme, IGBP), Universidad de Maryland (University of Maryland, UMD), Índice de área foliar (Leaf Area Index, LAI), BIOMA-Ciclos biogeoquímicos (BIOME-Biogeochemical Cycles, BGC) y Tipos funcionales de plantas (Plant Functional Types, PFT). (...) Capas adicionales de evaluación de propiedades de la cobertura del suelo son proporcionadas por el Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (Land Cover Classification System, LCCS) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization, FAO) para la cobertura del suelo, el uso del suelo y la hidrología superficial”.

El producto correspondiente a la versión 6.1 de MCD12Q1 MODIS, un conjunto de datos de variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre y los factores biogeoquímicos, ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m*, y es provisto por la NASA, el *Centro de Archivos Activos Distribuidos de Procesos Terrestres (Land Processes Distributed Active Archive Center, LP-DAAC)* y el *Centro de Observación y Ciencias de los Recursos Terrestres del USGS (Earth Resources Observation and Science (EROS) Center)* (NASA, LP-DAAC, y USGS EROS Center, s.f.a).

2.4.5 Índices de Vegetación

2.4.5.1 Índices de vegetación de VNP13s

El producto de datos de Índices de Vegetación Versión 1 (VNP13s) de la *Serie de Radiómetros de Imágenes Infrarrojas y Visibles (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, VIIRS)* de la *Asociación Suomi para la Órbita Polar Nacional (Suomi National Polar-orbiting Partnership, Suomi NPP)*, ha sido desarrollado por la NASA (LP-DAAC, 2018; Didan y Barreto, 2018). VNP13s proporciona índices de vegetación mediante un proceso de selección del mejor píxel disponible de todas las adquisiciones dentro de períodos de 16 días y mensuales, a resoluciones de 500 m, 1 km y 0.05° (5.600 m). Los productos de datos VNP13 están diseñados a partir del conjunto de productos de Índices de Vegetación Terra y Aqua de MODIS para promover la continuidad de la misión del EOS (NASA, LP-DAAC, y USGS EROS Center, s.f.b).

Según NASA, LP-DAAC, y USGS EROS Center (s.f.b, s.p.; *traducción propia*):

“El proceso del algoritmo VNP13 produce tres índices de vegetación: (1) Índice de vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), (2) Índice de vegetación mejorado (Enhanced Vegetation Index, EVI) y (3) Índice de vegetación mejorado-2 (Enhanced Vegetation Index-2, EVI2). (1) El NDVI es una de las series temporales continuas de observación remota más largas, que utiliza tanto la banda roja como la del infrarrojo cercano (Near-Infrared, NIR). (2) El EVI es un índice de vegetación ligeramente diferente que es más sensible a la cubierta del dosel, mientras que el NDVI es más sensible a la clorofila. (3) EVI2 es una reforma del EVI estándar de 3 bandas, utilizando la banda roja y la banda NIR. Esta reforma aborda los problemas que surgen al comparar VIIRS EVI con otros modelos de EVI que no incluyen una banda azul. EVI2 eventualmente se convertirá en el EVI estándar”.

El producto correspondiente a la versión 1 VNP13s, un conjunto de datos de tres índices de vegetación, ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *VNP13A1: VIIRS Vegetation Indices 16-Day 500m* y es provisto por la NASA, LP-DAAC y USGS EROS Center (NASA, LP-DAAC, y USGS EROS Center, s.f.b). La información de estos productos de datos ofrece métricas globales de vegetación, que son útiles para el monitoreo de la actividad, distribución y composición de la vegetación. Estos productos de datos respaldan estudios de fenología y detección de cambios, y pueden utilizarse como parámetro para modelos de vegetación (LP-DAAC, 2018; Didan y Barreto, 2018).

2.4.6 Medida Acumulativa de la Modificación Humana de la Cobertura Terrestre

2.4.6.1 Medida acumulativa de CSP gHM

El conjunto de datos sobre la modificación humana global (*global Human Modification, gHM*) proporciona una medida acumulativa de la modificación humana de las tierras terrestres a nivel mundial con una resolución de 1 km² a nivel mundial Kennedy *et al.* (2019). En el conjunto de datos del gHM se consideran las actividades humanas que alteran o impactan directa o indirectamente las tierras naturales basándose en un sistema de clasificación de amenazas existente (Salafsky *et al.*, 2008). Según Kennedy *et al.* (2019) se identifican cinco categorías principales de factores estresantes para los cuales se podrían adquirir datos espaciales globales sobre indicadores (o sustitutos) con una resolución de 1 km²: (i) *asentamientos humanos (densidad de población, áreas urbanizadas)*, (ii) *agricultura (tierras de cultivo, ganado)*, (iii) *transporte (carreteras principales, carreteras secundarias, dos vías, ferrocarriles)*, (iv) *producción minera y energética (minería, pozos petroleros, turbinas eólicas)* y (v) *infraestructura eléctrica (líneas eléctricas, luces nocturnas)*. En contraste con el sistema de clasificación de amenazas existente de Salafsky *et al.* (2008), siete categorías quedan por fuera del gHM (*Uso de recursos biológicos; Intrusiones y perturbaciones humanas; Modificaciones del sistema natural; Especies y genes invasores y otros problemáticos; Contaminación; Eventos geológicos; Cambio climático y clima severo*).

Los valores de gHM oscilan entre 0 y 1, y se calculan estimando la proporción de una ubicación determinada (píxel) que ha sido modificada, así como la intensidad estimada de la modificación asociada con un tipo específico de modificación humana o *factor de estrés* (Socios Científicos para la Conservación [CSP], s.f.).

Kennedy *et al.* (2019) mencionan que el mapa de gHM representa la cuantificación más actual y completa del impacto de las actividades humanas acumulativas en la superficie terrestre, ilustrando que un 5% de la superficie terrestre permanece sin ser afectada por los seres humanos, y los ecosistemas moderadamente modificados dominan la biosfera terrestre. Asimismo, un 8% de las áreas naturales, se encuentran a menos de 1 km (o adyacentes) de un límite modificado, y el 20% está dentro de 5 km, lo que podría ampliar la comprensión de la fragmentación global más allá de los biomas forestales. Por ejemplo, un análisis de cobertura forestal global realizado por Haddad *et al.* (2015), revela que el 70% del bosque restante se encuentra a menos de 1 km del borde del bosque, sujeto a los efectos degradantes de la fragmentación, como lo es la reducción de la biodiversidad entre un 13% y un 75%, afectando funciones clave del ecosistema al disminuir la biomasa y alterar los ciclos de nutrientes.

El conjunto de datos sobre el mapa de gHM, un conjunto de datos de medida acumulativa de la modificación humana de la cobertura terrestre mapeada por cinco de los principales factores de estrés antropogénico alrededor de 2016, ha sido incorporado al Catálogo de Datos de GEE como *CSP gHM: Global Human Modification*, y es provisto por CSP (CSP, s.f.).

endémica
arquitectura del paisaje




Ilustração em Aquarela
Catálogo das Espécies Nativas Portuguesas
Autora: Alejandra M. Orozco Meza
Título Original: 'Primavera; Habitat na Lusitânia'
Data Original: Abril de 2021; Lisboa, Portugal
Dimensões: 41.9 x 56.10"



[3.]

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SDMS EN PE-PVQ

*Vi já que a Primavera, de contente,
De mil cores alegres, revestia
O monte, o rio, o campo, alegremente.*

*Luis Vaz de Camões
Poeta (1524/1580), Portugal*

3.1 Introducción

En esta tercera sección, se aborda la aplicación concreta de la metodología de los *Modelos de Distribución de Especies* (*Species Distribution Models*, SDMs) en el marco del Proyecto de Ejecución del *Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ). Se presentan los antecedentes del Área de Estudio, con énfasis en las estrategias de la Zona Especial de Protección del *Palacio Nacional de Queluz* (ZEP-PNQ) y del Proyecto Intermunicipal del *Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA). Este contexto resulta crucial para comprender el entorno en el que se implementará la metodología de SDMs. Además, se brinda una detallada descripción de la propuesta ganadora en el Concurso Público de Concepción para la Elaboración del PVQ, así como del propio PE-PVQ. Este análisis es esencial para comprender la génesis y los elementos clave que configuran el entramado del proyecto.

Dentro del ámbito de la aplicación práctica de los SDMs, se detallan seis fases fundamentales: **(i) Localización de las Especies:** En esta primera fase, se presentan las ubicaciones de los datos de presencia para las 17 especies del PE-PVQ, a nivel de Portugal continental y en la *Planta de Plantación y Siembra* del PE-PVQ; **(ii) Variables Medioambientales:** En esta segunda fase, se proporciona una visión integral y detallada de cada una de las variables medioambientales seleccionadas, incluyendo su resolución espacial y disponibilidad temporal; **(iii) Escenarios de Cambio Climático CMIP6, histórico, SSP2-4.5 y SSP5-8.5:** En esta tercera fase, se ofrece una visión integral y detallada del Conjunto de Datos NASA *Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections* (NEX-GDDP-CMIP6), con sus variables medioambientales, resolución espacial y disponibilidad temporal. Asimismo, se realiza una representación gráfica, de una línea de tiempo con los escenarios de cambio climático y los conjuntos de datos seleccionados. Además, se realizan simulaciones de la variable de temperatura media anual del *Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2* (*Community Earth System Model Version 2*, CESM2) y del *Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6* (*Model for Interdisciplinary Climate Research 6*, MIROC6) para apreciar sus diferencias; **(iv) Modelización de la Distribución de la Especie:** En esta cuarta fase, se construyen los modelos SDMs actual y futuros para cada especie utilizando dos algoritmos de aprendizaje automático: *Maximum Entropy Method* (MaxEnt) y *Random Forest* (RF); **(v) Evaluación de Modelo:** En la quinta fase, se evalúa el rendimiento de cada uno de los modelos; y **(vi) Análisis Espacial:** En esta última fase, se calcula el promedio de los resultados obtenidos, se extrae el valor de idoneidad logística de cada especie para la *Cuenca Hidrográfica del Río Jamor* y el PE-PVQ, y se determina el área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística superan 0.5, considerando Portugal continental y los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora.

3.2 Zona Especial de Protección del *Palacio Nacional de Queluz* (ZEP-PNQ)

En los términos del artículo 2.º, n.º 1, del Decreto de Ley n.º 205/2012, de 31 de agosto, la sociedad *Parques de Sintra - Montes da Lua, S.A.* (PSML), quedó encargada de la gestión del *Palacio Nacional de Queluz* (PNQ) (Portugal, 2012). Asimismo, el objetivo de PSML es la recuperación, recalificación, revitalización, gestión, explotación y conservación de todas las áreas del PNQ, incluidos los parques y otras zonas circundantes, en conformidad con el artículo 2.º, n.º 1, del Decreto de Ley n.º 215/2000, de 2 de septiembre (Portugal, 2000), con las modificaciones introducidas por el Decreto de Ley n.º 205/2012, de 31 de agosto.

Al recibir esta responsabilidad de gestión del patrimonio, PSML constató que, además de la rehabilitación y mantenimiento del Palacio y sus jardines históricos, se requería abordar una serie de limitaciones que habían afectado a este importante patrimonio nacional. Para comprender y analizar la Zona Especial de Protección del *Palacio Nacional de Queluz* (ZEP-PNQ) (véase Figura 7), PSML encomendó el *Plano Estratégico de Salvaguarda e Valorização do Palácio e sua envolvente* al Arquitecto y Profesor João Pedro Falcão de Campos (PSML, 2014).

El propósito de este plan estratégico es asegurar que la rehabilitación del PNQ incluya la regeneración urbana de su entorno, garantizando una mayor protección y valorización del Palacio, así como promoviendo la mejora de la calidad de vida de los habitantes (Falcão, 2015). En este plan estratégico se identificaron siete principios que fueron la guía del enfoque de las intervenciones futuras, incluyendo en estos principios la elaboración del Proyecto *Ponte Verde de Queluz* (PVQ) (punto 6) (véase Figura 8):

1. Implementación del Gran Parque Metropolitano de Queluz (GPMQ);
2. Valorización de los principales cursos de agua;
3. Mejoras en el tramo de la autopista IC19 a lo largo del GPMQ;
4. La línea férrea Lisboa-Sintra como acceso privilegiado al Palacio y jardines de Queluz;
5. Recalificación del *Terreiro do Paço de Queluz*;
6. Minimizar la fragmentación del territorio generada por la autopista IC19 y promover nuevas accesibilidades, entre estas el PVQ (véase Figura 9); y
7. Dar continuidad a la valorización y recuperación del sistema de estructuras de abastecimiento de agua a las *Quintas de Queluz* (*Quinta Nova, Outeiro das Forçadas, Quinta da Rainha y Matinha de Queluz*).

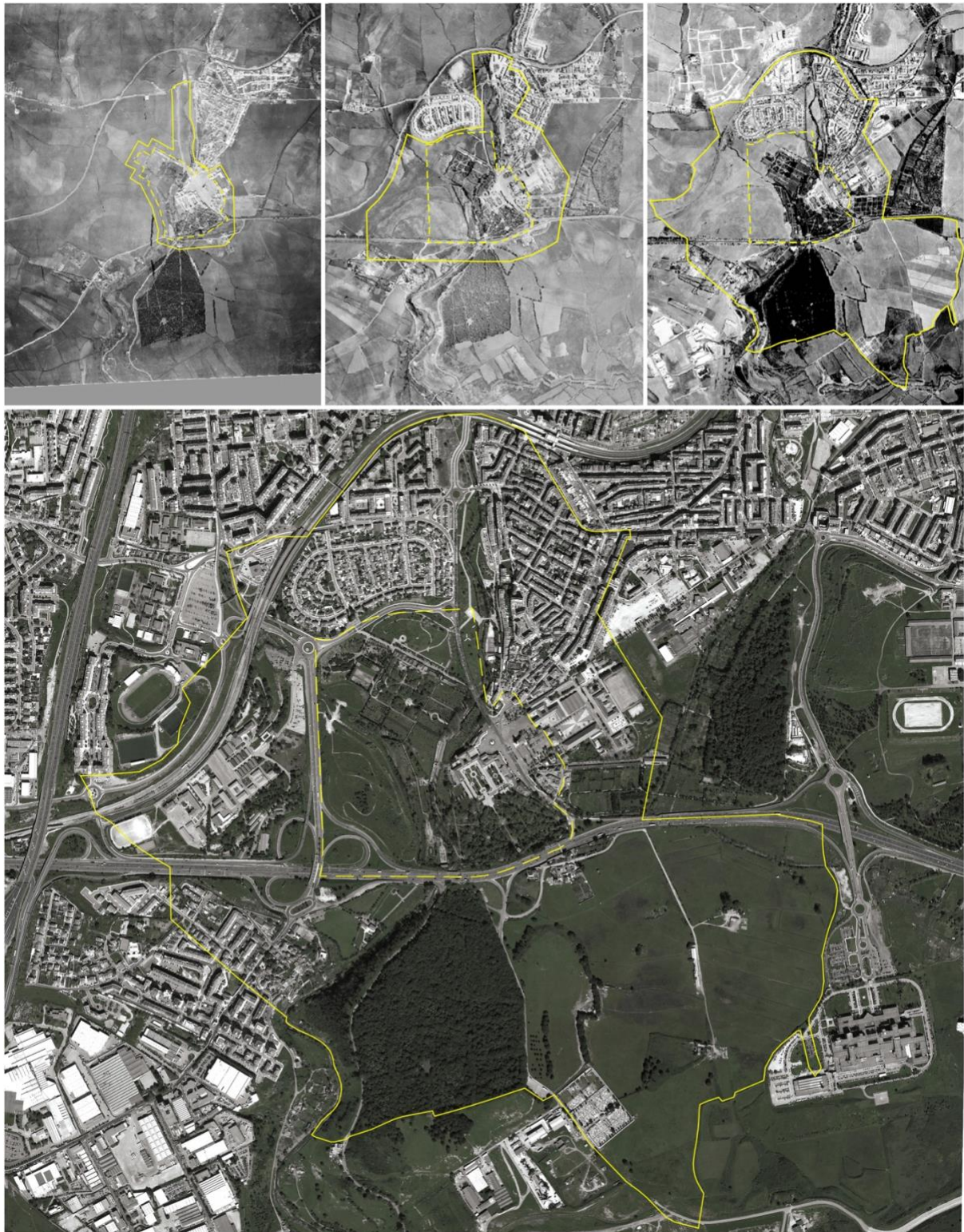


Figura 7. Evolución de la ZEP-PNQ, donde se verifica el crecimiento de la presión de la construcción urbanística fuera de la zona envolvente (Falcão, 2015). La implementación de la ZEP-PNQ en sus tres versiones, de 1948, 1961 y 1968, aliada al hecho de que la mayor parte de los terrenos se encuentran en posesión del Estado, permitieron, de alguna forma, contener la gran presión urbanística verificada en los últimos 50 años.



Figura 8. Fotomontaje de la vista aérea del Plano Base del Plano Estratégico de Salvaguarda y Valorización del PNQ y su zona envolvente (Falcão, 2015).

En la materialización de este plan estratégico, se propusieron una serie de acciones destinadas a la rehabilitación del área de la *Cuenca Hidrográfica del Río Jamor* (CH Río Jamor). Estas propuestas, en una de las zonas más propensas a inundaciones, encontraron eco en los municipios de Sintra, Oeiras y Amadora. Esta área se sitúa junto al muro del Palacio, adyacente a la autopista IC19 y cerca del cauce del Río Jamor. Por consiguiente, se identifica la necesidad de llevar a cabo una intervención integral desde una perspectiva territorial, con el objetivo de abordar cuestiones estructurales y de planificación de gran relevancia. Asimismo, se buscaba proteger de las inundaciones cíclicas el trabajo que PSML ha realizado en la restauración del Palacio y sus jardines (PSML, 2016).

La constatación de que un enfoque de este tipo, centrado en la desfragmentación del territorio y en la CH Río Jamor, resultaría en la creación del Proyecto Intermunicipal del *Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA), un eje ecológico que atraviesa los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, el cual llevó a PSML a proponer a los municipios involucrados el desafío de replantear esta área del territorio para garantizar la adecuada valoración de este importante monumento nacional y, al mismo tiempo, promover la mejora de la calidad de vida de las poblaciones (PSML, 2016).

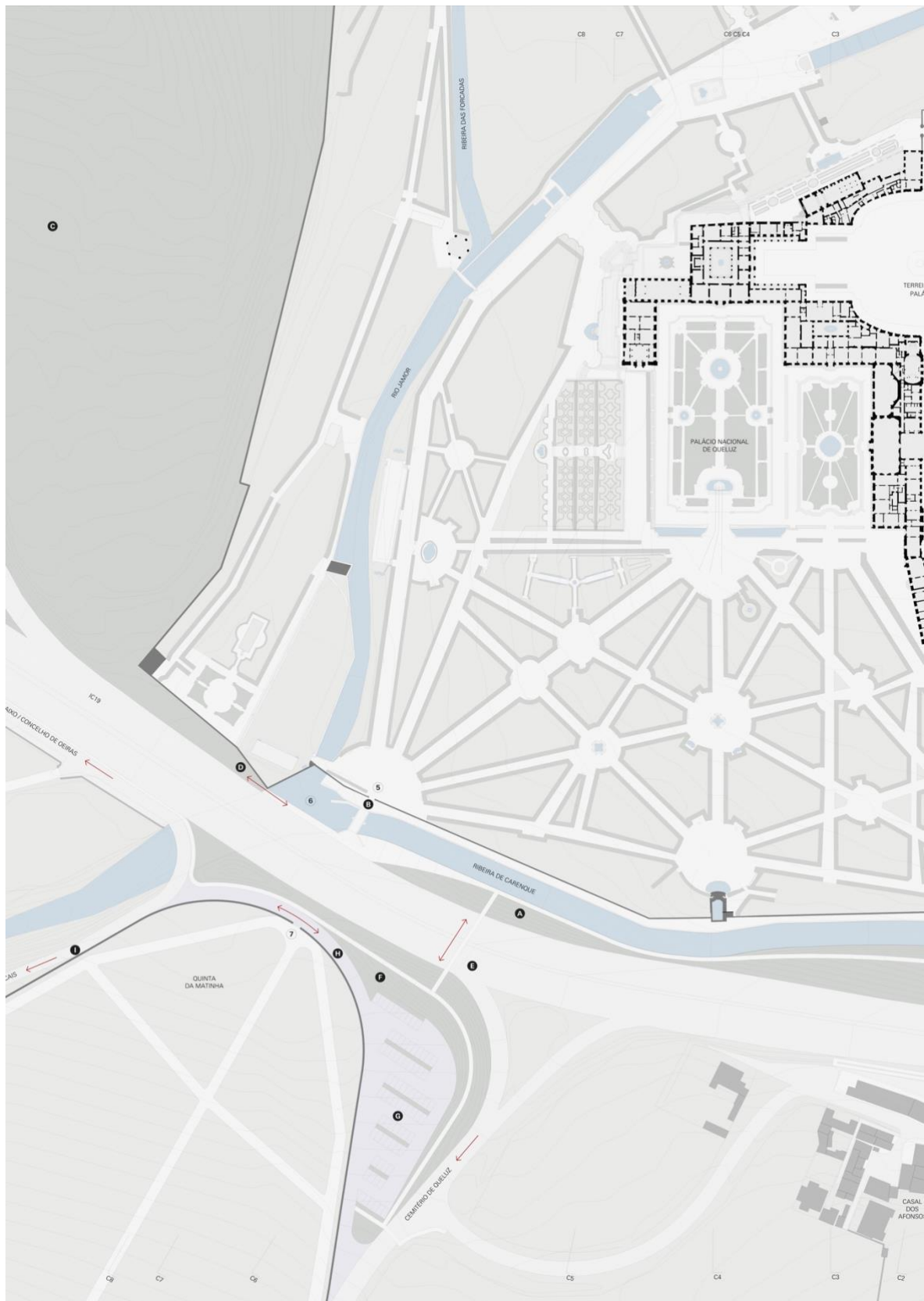


Figura 9. Ponto E: novo ponte sobre a autopista IC19 (ponto de partida para a conceptualização do PVQ). Planta sobre a minimização do impacto de a autopista IC19 e de a fragmentação do território do Plano Base do Plano Estratégico de Salvaguarda e Valorização do PNQ e su zona envolvente. Escala 1:1000 (Falcão, 2015).

3.3 Proyecto Intermunicipal del *Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA)

Los municipios de Sintra, Oeiras y Amadora, y PSML firmaron un Protocolo de colaboración relativo a la creación del Proyecto Intermunicipal del *Eixo Verde e Azul do Rio Jamor* (EVA) (Anexo I), el 14 de julio de 2016, cual pretende recalificar el sistema Jamor-Carenque y el área circundante del PNQ de forma a valorizar ambiental, social y económicamente toda una mayor región.

En este protocolo se considera, lo siguiente:

- La importancia del Río Jamor y de sus afluentes, en cuanto a que el curso de agua que recorre los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora;
- El eje ecológico del Río Jamor establecido en los instrumentos de gestión territorial en vigor y en otros instrumentos de política urbana como áreas de rehabilitación urbana, reforzando el enlace con el *Parque Florestal da Serra da Carregueira*;
- El riesgo de inundaciones del Río Jamor y de la *ribeira de Carenque* agravado por las alteraciones climáticas, con peligro para las poblaciones y para el patrimonio cultural;
- La necesidad de alterar el estado de degradación en que actualmente se encuentran las infraestructuras y los espacios públicos de la zona envolvente del Río Jamor y de la *ribeira de Carenque*;
- La necesidad de mejorar el acceso de la población a disfrutar de las áreas verdes y de mejorar su conservación;
- La necesidad de promover circuitos de movilidad sustentable a lo largo de la tipología, entre *Carregueira* y *Caxias*, permitiendo el acceso a la estación de los *Caminos-de-Ferro* de Queluz, al PNQ y a la *Mathina de Queluz*, bien como el acceso al *concelho* de Oeiras;
- La necesidad de intervención integrada de acuerdo en la regularización del Río Jamor, como base de un proyecto de creación de áreas verdes, recalificación del espacio urbano y del establecimiento de un circuito de movilidad suave;
- La importancia de este proyecto para la realización de las atribuciones de PSML relativas a la salvaguarda y valorización del PNQ, asegurando la indispensable protección de los canales y jardines del Palacio, mejorando la calidad paisajística y el usufructo del espacio, promoviendo el acceso de bicicleta a partir del *comboio* y potenciando, de este modo, el aumento de visitas por parte de los residente y turistas, a todo el patrimonio natural y cultural de los varios *concelhos*, con beneficio para la economía local;
- Se ha afectado PSML por el Decreto de Ley N° 205/2012, de 31 de agosto, la explotación del PNQ, a fin de que asegure la salvaguarda y valoración de este monumento; y

- El empeño de los municipios en la articulación de intervenciones teniendo en vista este objetivo común de la mejoría de la calidad de vida de las poblaciones asociado a la deseable dinamización de las actividades económicas del turismo y el placer.

Por lo anterior, el Proyecto Intermunicipal EVA, establece una estrategia integrada de intervención destinada a crear y consolidar un eje ecológico a lo largo del Río Jamor, de acuerdo en la regularización del río y defensa contra inundaciones, bien como asegurar la calidad de los cuerpos de agua, procediendo aún a la recalificación del espacio público envolvente, mejorando el acceso de las poblaciones a la naturaleza y al patrimonio histórico cultural, y creando un circuito de movilidad suave a través de los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora. Además, el Proyecto Intermunicipal EVA, se articula, con el *Parque Florestal da Serra da Carregueira*, permitiendo una integración en toda la extensión de este curso de agua y en parte significativa de la respectiva red hidrográfica.

El Proyecto Intermunicipal EVA comprende proyectos específicos, integrando acciones relativas a diversas tipologías de intervención, a concretizar y ejecutar en el ámbito de operaciones municipales a promover por los municipios de Sintra, Oeiras y Amadora, en sus respectivos *concelhos* en los términos previstos por ley y en el Programa General de concretización del Proyecto Intermunicipal EVA.

A continuación, los objetivos principales del Proyecto Intermunicipal EVA:

1. Promover la re-naturalización y mejoría de la cualidad de las masas de agua y recalificación del espacio envolvente del Río Jamor y sus afluentes;
2. Asegurar el control de los caudales, previniendo los efectos de las alteraciones climáticas y promoviendo la seguridad de las personas y bienes inmuebles en las áreas actualmente sujetas al riesgo de inundación;
3. Proteger, en especial, el patrimonio cultural único de los canales y jardines del PNQ;
4. Proceder a la recalificación del espacio público a lo largo del Río Jamor y de la *ribeira de Carenque* (véase Figura 10);
5. Dignificar y valorizar el PNQ, a través de la recalificación del espacio público circundante y de su protección de los efectos negativos del tráfico vehicular;
6. Mejorar y aumentar la afluencia de visitantes nacionales e internacionales al PNQ y al acceso y disfrute del patrimonio natural y cultural, contribuyendo para la mejoría de la cualidad de vida de las poblaciones, a la cohesión social y la promoción de la economía local; y

7. Favorecer la movilidad suave entre Queluz y *Caixas* y en los accesos de las áreas urbanas al transporte ferroviarios y a las áreas de naturaleza, cultura y de placer, contribuyendo para el combate de las alteraciones climáticas.

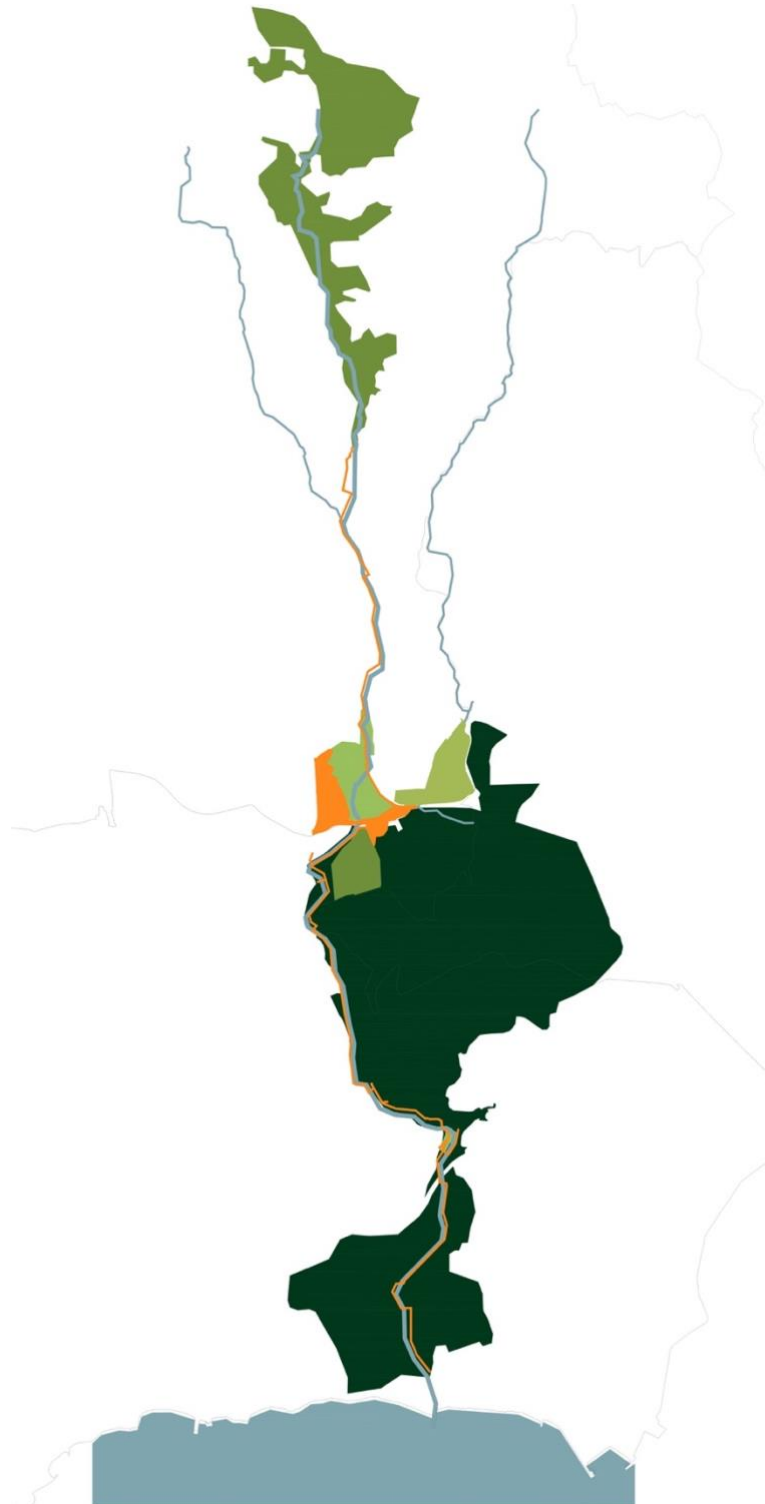


Figura 10. Centralidad de las *Quintas de Queluz* (*Quinta Nova, Outeiro das Forçadas, Quinta da Rainha y Matinha de Queluz*) en la Estructura Ecológica asociada al Proyecto Intermunicipal EVA. En color anaranjado, el área de intervención del PVQ sobre la autopista IC19 (Cancela *et al.*, 2017; Elaboración propia, 2017).

3.4 Concurso Público del Proyecto *Ponte Verde de Queluz* (PVQ)

La presente descripción se refiere a la propuesta ganadora del Concurso Público de Concepción para la Elaboración del Proyecto *Ponte Verde de Queluz* (PVQ), en respuesta a los Términos de Referencia y del Programa Preliminar de la Convocatoria Pública emitido en la Parte L – Contratos públicos del *Diário da República*, 2.^a serie N.º 27, anuncio n.º 930/2017, el 7 de febrero de 2017, por PSML (Anexo II). Para su realización y desarrollo, PSML celebra un contrato de prestación de servicios como resultado de un Procedimiento de Contratación Directa, adoptado de acuerdo con lo establecido en el inciso g) del artículo 27, número 1, del Código de Contratos Públicos (CCP), Proc. N.º 1035/2017-PE, presentado el 23 de junio de 2017 al Consorcio *BIODESIGN, Ambiente e Paisagem, Lda.*, y *TETRAPLANO, Engenharia, Lda.*

Este Concurso Público tiene como objetivo principal considerar las estrategias de la Estructura Ecológica asociadas al Proyecto Intermunicipal EVA, con el propósito de contribuir a la creación y consolidación del eje ecológico previsto a lo largo del Río Jamor (PSML, Câmara Municipal de Sintra y AOSRS, 2017). En este contexto, esta zona que envuelve el PNQ, cobra gran relevancia la centralidad de las *Quintas de Queluz* (*Quinta Nova, Outeiro das Forcadas, Quinta da Rainha y Matinha de Queluz*), ya que se pretende implementar un nuevo puente peatonal y ciclable sobre el Río Jamor, contiguo al viaducto de la autopista IC19. Dicho puente tendrá la función de conectar Queluz con la *Quinta da Matinha* y el *concelho* de Oeiras, restableciendo la conexión entre el prolongamiento del *Parque Urbano Felício Loureiro* y las estructuras de valor patrimonial adyacentes, al sur, se encuentra el muro de los jardines del Palacio, la antigua *azinhaga* y el puente histórico del siglo XVIII sobre la *ribeira de Carenque*, que se integrarán al parque urbano de manera articulada y continua (Falcão, 2015).

Este puente peatonal y ciclable sobre la autopista IC19, entre los jardines del PNQ y la *Matinha de Queluz*, deberá ser concebido como un continuo verde entre ambos espacios, con la finalidad de cumplir los siguientes objetivos específicos:

1. Cumplir las accesibilidades, en particular el Decreto de Ley n.º 163/2006 y del Proyecto Intermunicipal EVA;
2. Asegurar la circulación peatonal y ciclable con una anchura mínima de 2.5 metros, que podrá asumir un perfil de vía compartida entre los peatones y los velocípedos o de ciclovías;
3. Localizar los puntos de acceso al puente en las áreas delimitadas en la planta con delimitación del área de intervención;
4. Prever iluminación pública; y
5. La estructura del puente no puede tener apoyo central.

La propuesta ganadora del Consorcio *BIODESIGN, Ambiente e Paisagem, Lda.*, y *TETRAPLANO, Engenharia, Lda.*, (véase Figuras 11 a 14), se asume como marco de una nueva identidad en un territorio actualmente fragmentado bajo el lema de *Reunir Queluz*, por lo cual se pretende *Reunir*:

1. El PNQ a la *Matinha de Queluz*, como siempre estuvieron hasta la ruptura del IC19;
2. El área ahora denominada *Outeiro da Forçadas* a las quintas reales y propiedades periféricas en sus identidades vocaciones de recreo y producción;
3. La centralidad a ser creada en esta nueva referencia cultural y paisajística basada en las *Quintas de Queluz*, con las propuestas del Proyecto Intermunicipal EVA y con el futuro Parque Metropolitano de la *Sierra de Carnaxide* y valle de Jamor;
4. Cohesión social con dimensión territorial, actividades pedagógicas con sentido de pertenencia, animación turística como valorización patrimonial;
5. Accesos y modos suaves de movimiento en un todo coherente y continuo, vivificador y potenciador de vivencias y conocimiento;
6. Una estructura ecológica con funcionamiento hidráulico diseñado para minimizar riesgos, potenciar la biodiversidad y estructurar adecuadamente las vocaciones de los paisajes; y
7. Entidades y personas dispares, pero unidas en valorizar cultural, ambiental, social y económicamente un territorio con enorme potencial.

En particular, según Cancela *et al.* (2017), el PVQ es proyectado como una pieza de movilidad suave, de interconexión cultural y restauración de hábitat regional, configurándose como una estructura de Continuidad Ecológica (Biodiversity and Water Consultancy, Lda. [BIOTA], 2017). Al integrar esta última componente, se busca alcanzar los siguientes ítems:

1. La conexión entre los ecosistemas que ocurren en cada uno de los lados del puente;
2. El restablecimiento de la vegetación natural de la región y dar continuidad a los ecosistemas naturales presentes o por recalificar;
3. La concretización ejemplar de una estructura que sea eficaz en la continuidad natural también para la fauna (insectos, reptiles, anfibios y pequeños mamíferos) y usufructo del espacio por polinizadores; y
4. La reposición de alguna naturalidad en una zona donde la barrera de la autopista IC19 es, en el ámbito de la continuidad ecológica, fracturante.



Figura 11. Plan General de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:2000 (Cancela *et al.*, 2017; Elaboración propia, 2017).

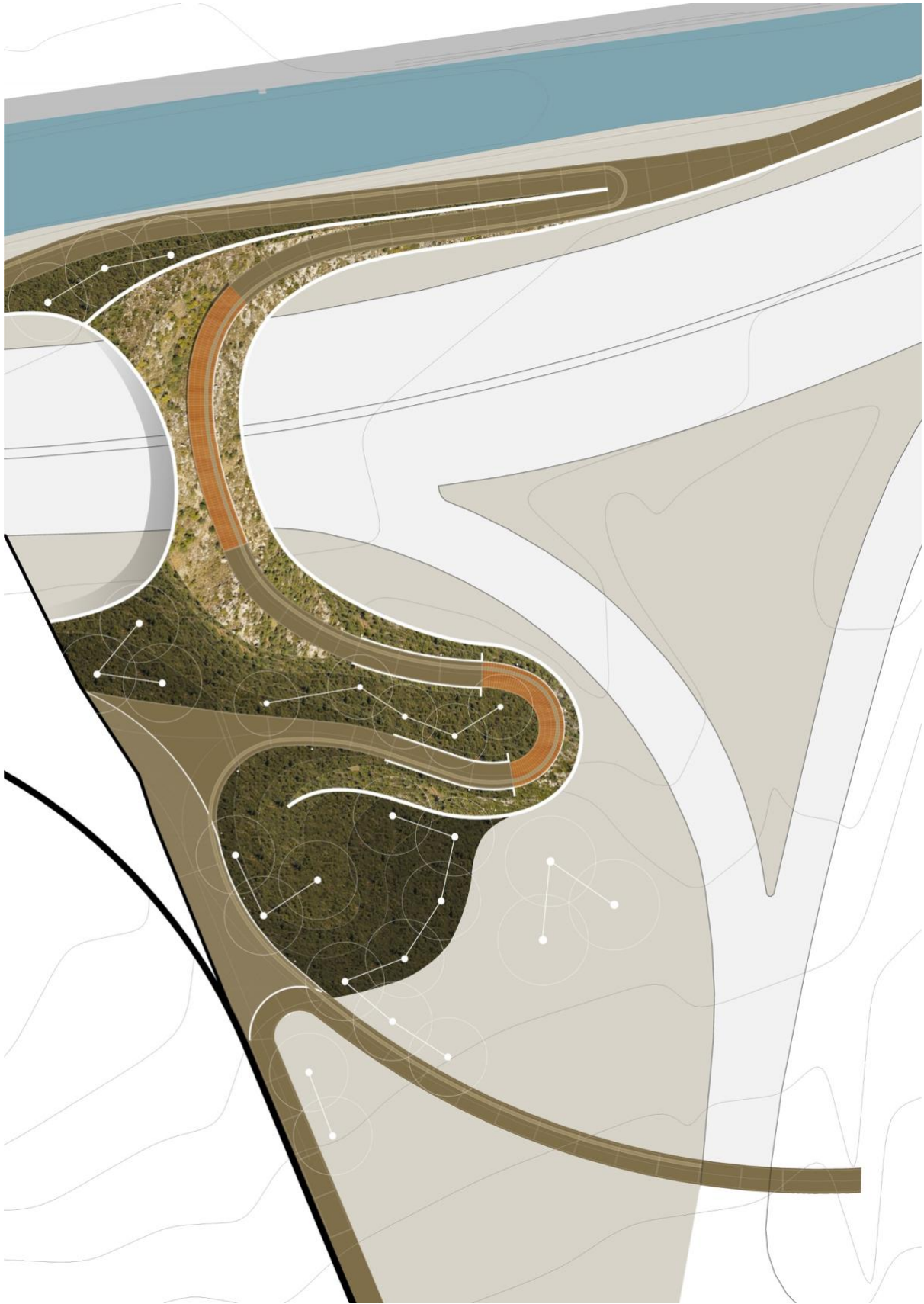


Figura 12. Detalle de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2017; Elaboración propia, 2017).



Figura 13. Visualización de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2017; Elaboración propia, 2017).



Figura 14. Corte transversal de la sección mayor de la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ. Escala 1:50 (Cancela *et al.*, 2017; Elaboración propia, 2017).

3.4.1 Conceptualización del Hábitat

En respuesta a una solicitud de BIODESIGN, *Ambiente e Paisagem, Lda.*, a BIOTA - *Biodiversity and Water Consultancy, Lda.*, para presentar un marco del sitio desde una perspectiva ecológica, considerando el PVQ como un componente de Continuidad Ecológica, en particular en cuanto a flora, vegetación y hábitats, BIOTA (2017, p. 5) desarrolla lo siguiente:

“Enquadramento da Área de Projeto:

O Superdistrito Olissiponense engloba os concelhos de Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Mafra, parte de Vila Franca de Xira e Sintra. A área de projeto enquadra-se neste território que possui grande variedade e riqueza geológica onde se observa um mosaico de margas, argilas, calcários e arenitos do Cretácico, rochas eruptivas do Complexo Vulcânico Lisboa-Mafra (basaltos, piroclastos, brechas, traquitos, doleritos, riólitos, dioritos, andesitos), calcários e arenitos do Jurássico, arenitos, conglomerados e calcários brancos do Paleogénico e arenitos e calcários margosos do Mio-Pliocénico. Os basaltos, rocha relativamente deficiente em sílica e rica em magnésio predomina claramente sobre os restantes.

Em termos pedológicos, estamos na presença de vertissolos, com elevada percentagem de argila ao longo de todo o perfil do solo e, reduzido teor em matéria orgânica. A capacidade de troca catiónica destes solos é elevada e o seu pH oscila entre a neutralidade a ligeiramente alcalino. O relevo é ondulado com pequenas colinas que não ultrapassam os 400 m de altitude, sendo muitas delas antigos cones vulcânicos.

*A vegetação climática nos solos vérticos termomediterrânicos é constituída por um zambujal arbóreo com alfarrobeiras (*Viburno tini-Oleetum sylvestris*), que por degradação resulta no *Asparago albi-Rhamnetum oleoidis* e no arrelvado *Carici depressae-Hyparrhenietum hirtae*. Nas rochas vulcânicas ácidas e nos arenitos observam-se os sobreirais do *Asparago aphylli-Quercetum suberis*. Este sobreiral, em solos mal drenados de arenitos duros cretácicos, tem como etapa de substituição um tojal endémico do território – *Halimio lasianthi-Ulicetum minoris*. Por seu turno, nos luvisolos e cambissolos calcários a série florestal é a do carvalhal cerquinho *Arisaro-Querceto broteroi S.*, onde o tojal resultante da sua degradação - *Salvio sclareoidis-Ulicetum densi ulicetosum densi* tem a sua maior área de distribuição”.*

Cancela *et al.* (2017) abordan la creación del PVQ como un acto formal de arte y técnica paisajística. El concepto ecológico propuesto se fundamenta en la filosofía y técnicas de restauración y creación de hábitats. En el caso específico, y dada la comprensión de las comunidades vegetales autóctonas locales, se propone la combinación de comunidades de prados perennes, bosques secos y áreas rupícolas.

Los prados perennes, principalmente compuestos por *Brachypodium phoenicoides* (L.) Roem. y Schult, constituyen hábitats de características únicas que, en sus áreas naturales, pueden albergar importantes poblaciones de orquídeas, estableciéndose como hábitats prioritarios para la conservación. Los bosques secos y de baja altura representan comunidades arbustivas poco densas, compuestas por especies adaptadas a hábitats áridos. La comunidad seleccionada abarca el *tomilhal*, un conjunto notable con alta diversidad florística, el cual se encuentra codominado por especies pertenecientes al género *Thymus spp.* En mosaico con los tipos de vegetación previamente mencionados se integran áreas rupícolas que, además de sustrato rocoso, albergan comunidades de plantas suculentas, arbustos pequeños y geófitos. Esta combinación fomentará el disfrute del espacio por parte de la comunidad faunística de manera significativa (BIOTA, 2017; Cancela *et al.*, 2017) (véase Figura 15).



Figura 15. Hábitats conceptualizados en la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ, prados perennes (arriba en la izquierda), bosques secos y de baja altura (abajo en la izquierda) y áreas rupícolas (a la derecha) (BIOTA, 2017).

3.4.2 Descripción del Hábitat Conceptualizado

El enfoque de Cancela *et al.* (2017) hacia el diseño del proyecto, se basa en la estrategia operativa del diseño generativo, considerando que el proceso de conceptualización es esencialmente subjetivo e intuitivo, relacionado con la producción artística, así como con propuestas analíticas (Groat y Wang, 2002). En su trabajo, Cancela *et al.* (2017) emplean la observación, descripción y medición para organizar y categorizar el hábitat conceptualizado. El propósito de este enfoque es entender, evaluar y diagnosticar, todos estos aspectos con el fin de abordar y/o responder, parcial o completamente, al problema planteado (Deming y Swaffield, 2011). En particular, el proyecto busca responder a cuestiones relacionadas con la proyección del PVQ como una pieza de restauración de hábitat regional, configurándose como una estructura de Continuidad Ecológica (BIOTA, 2017).

A continuación, en los Cuadros 3, 4 y 5 se presenta la descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del prado perenne, los bosques secos y de baja altura (*tomilhal*) y la vegetación rupícola (véase Figura 16).

Cuadro 3. Descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del prado perenne. (Elaboración propia, 2017).

NOMBRE CIENTÍFICO	HÁBITATS (MSNM)	HABITO (CM)	AUTOR
<i>Aceras anthropophorum</i> (L.) W.T.Aiton, <i>homotypic synonym</i> de <i>Orchis anthropophora</i> (L.) All.	Matorrales, prados y claros de bosque; 0-1650	Tallos (8) 12 – 38 (50)	Aedo (s.f.a)
<i>Anemone palmata</i> (L)	Depresiones húmedas en pastos sobre suelos arcillosos, descalcificados o arenosos, matorrales, y bajo encinas, alcornoques o quejigos; 0-1500	Tallo 10 – 60	Montserrat (s.f.)
<i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch	Bosques caducifolios, quejigares, alcornoques, encinares, pinares y abetales, generalmente en suelos calizos; (50) 500 – 1600 (1900)	Tallo 20 - 85	Alarcón y Aedo (2002)
<i>Fritillaria lusitanica subsp.</i> <i>lusitanica</i> Wikstr.	Pastizales vivaces, claros de matorral y bosques mediterráneos, canchales y pedregales, en cualquier tipo de material, aunque con cierta preferencia por los sustratos básicos, también en yesos; 0-3200	Hierba perenne. Tallo 13-84	Güemes (s.f.a)
<i>Gladiolus illyricus</i> Koch	Herbazales y pastizales secos, claros de matorral, maquias, pinares y bosques planifolios, en sustratos de cualquier naturales, de ordinario pedregosos, en áreas bien iluminadas; 0-1500	Hierba 25-90	Alonso y Crespo (s.f.)
<i>Ophrys fusca subsp. fusca</i> Link	Matorrales, pastizales, claros de bosque, en todo tipo de sustrato; 0 – 1500	Tallos 8-44	Aldasoro y Sáez (s.f.a)
<i>Ophrys lutea</i> Cav.	Claros de matorrales y bosques pastizales, cultivos, cuevas, lugares pedregosos, tanto en sustratos básicos como ácidos, aunque con alguna preferencia por los suelos básicos arcillosos; 0-1250	Tallo 7-50	Aldasoro y Sáez (s.f.b)
<i>Orchis italica</i> Poir.	Prados y claros de matorrales o de bosques, sobre calizas o en sustratos silíceos; 300-1000 m	Tallo (7) 18- 24(50)	Aedo (s.f.b)
<i>Ornithogalum baeticum</i> Boiss.	Pastizales secos de áreas montañosas, claros de bosque e incluso zonas costeras o marismas, de ordinario en áreas bastante cálidas, en suelos más o menos rocosos de cualquier naturaleza; 0-1600 (1700)	Hierba perenne. Tallo (2) 3-11(19)	Martínez, Crespo y Juan, (s.f.)

Cuadro 4. Descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del bosques secos y de baja altura (*tomilhal*). (Elaboración propia, 2017).

NOMBRE CIENTÍFICO	HÁBITATS (MSNM)	HABITO	AUTOR
<i>Antirrhinum linkianum</i> Boiss. y Reut.	Fisuras o rellenos de rocas, terrenos removidos pedregosos, bordes de camino, cascajos y muros, en sustratos calizos o silíceos; 0-1000	Hierba perenne (30-60) Endémica de la Península Ibérica	Güemes (s.f.b)
<i>Cistus albidus</i> (L.)	Matorrales, etapa regresiva de los encinares y otros bosques mediterráneos, en regiones próximas al mar o zonas de clima seco, poco frío en invierno y muy caluroso en verano, sustratos calizos ; 0-1400	Arbusto 40 – 100 (150)	Demoly y Montserrat (s.f.a)
<i>Cistus salviifolius</i> (L.)	Matorrales, subsuelo de alcornoques, pinares y encinares, sobre suelos fresco, muy arcilloso o arenosos, descalcificados (" <i>terra rossa</i> ", sobre caliza) o en rocas silíceas; 0-1100 (1800)	Arbusto 20-90	Demoly y Montserrat (s.f.b)
<i>Helichrysum stoechas subsp. stoechas</i> (L.) Moench,			
<i>Rosmarinus officinalis</i> L., <i>homotypic synonym</i> <i>Salvia rosmarinus</i> Spenn	Matorrales y formaciones arbóreas abiertas, indiferente edáfica; 0-1600	Arbusto hasta de 180	Morales (s.f.a)
<i>Salvia sclareoides</i> Brot.	Herbazales, ribazos, claros de bosque, en lugares con cierta humedad edáfica en margas o arcillas; 0-500	Hierba 15- 90 bienal o perenne	Sáez (s.f.)
<i>Thymus zygis</i> L.	Matorrales pioneros o poco evolucionados, indiferente edáfica; 10-2000	Sufrutice 10-30	Morales (s.f.b)

Cuadro 5. Descripción del hábitat de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización de la vegetación rupícola. (Elaboración propia, 2017).

NOMBRE CIENTÍFICO	HÁBITATS (MSNM)	HABITO	AUTOR
<i>Chaenorhinum origanifolium subsp. cotiellae</i> P.Monts. y G.Monts.	Fisuras y rellenos de roquedos, y gleras, principalmente calizos, también en muros; 0-2600	Hierba perenne, hasta de 40	Benedí y Güemes (s.f.)
<i>Paeonia broteri</i> Boiss. y Reut.	Sotobosque de robledales, quejigares, encinares, alcornoques y bosques de ribera, suelos ácidos o básicos; 100-1850	Hierba vivaz, rizomatosa. Tallos de hasta 70	Muñoz y Navarro (s.f.)
<i>Sedum album</i> L.	Muros, tejados, zonas rocosas, arenosas, dunas, etc., indiferente sustrato, pero con mayor frecuencia en zonas eutrofizadas; 0-2400	Planta perenne. Tallo de hasta 30	Castroviejo y Velayos (s.f.a)
<i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau, <i>homotypic synonym</i> de <i>Petrosedum sediforme subsp. sediforme</i> (Jacq.) Grulich	Indiferente sustrato, colonizadora de suelos generalmente pobre, en hábitats muy variados, desde matorrales, hasta muros, paredes, tejados, etc.; 0-2000	Planta perenne. Tallos de hasta 60	Castroviejo y Velayos (s.f.b)



Figura 16. Tabla vegetal de las especies autóctonas recomendadas por BIOTA (2017) para la conceptualización del hábitat proyectado en la propuesta de Concepción para la Elaboración del PVQ (Cancela *et al.*, 2017).

3.5 Proyecto de Ejecución del *Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ)

3.5.1 Localización y Características del Área de Estudio

El Área de Estudio de la presente investigación está ubicada entre las coordenadas geográficas de longitud -9.258885386202932 y latitud 38.74760820505287 (EPSG:32629), correspondientes al punto central del Proyecto de Ejecución del *Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ), atravesamiento peatonal y ciclable sobre la autopista IC19 (véase Figura 17). El PE-PVQ está definido por los siguientes límites:

- **Norte:** *Ribeira de Carenque*, jardines del PNQ y *Parque Urbano Felício Loureiro*;
- **Este:** Salida de IC19 para Eng.º Duarte Pacheco;
- **Sur:** Entrada de la *Matinha de Queluz*, siguiendo por la calle de la *Rainha* hasta el atravesamiento de la autopista IC19 por el puente N117; y
- **Oeste:** Puente N117.

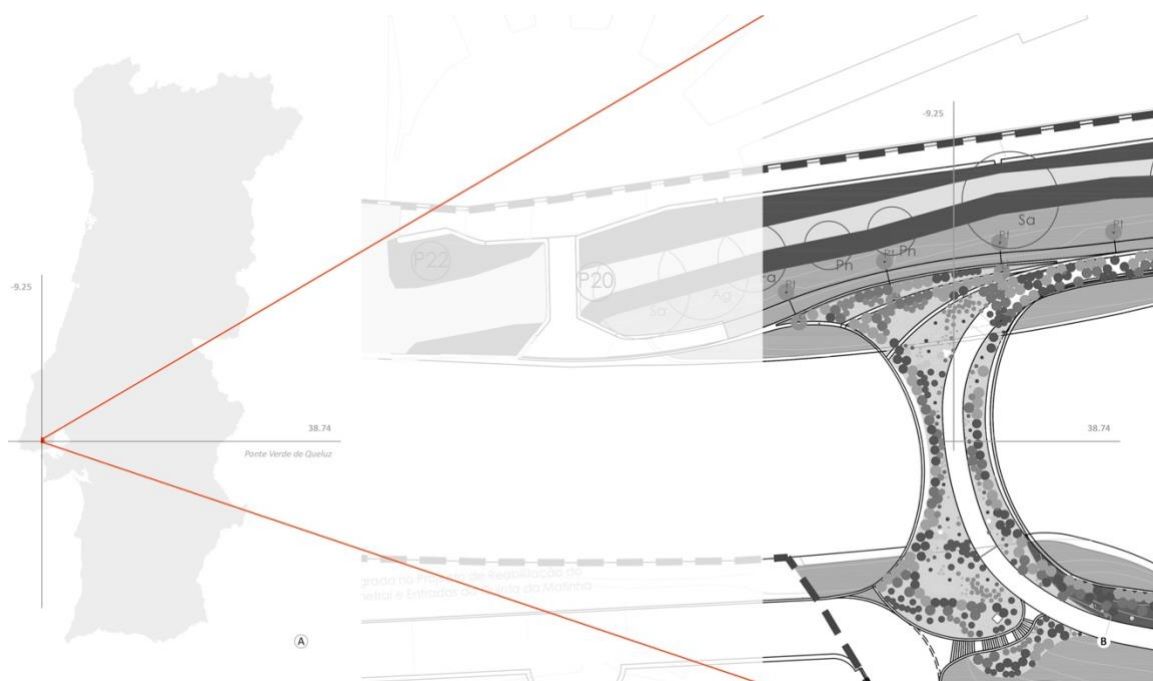


Figura 17. (A) Ubicación del PE-PVQ en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).

3.5.2 Especies Autóctonas del Área de Estudio

Esta investigación se enfoca en el diseño del paisaje vegetal del PE-PVQ, que propone exclusivamente el uso de especies vegetales autóctonas para promover la continuidad ecológica. La lista de especies recomendadas por BIOTA (2017) sufre modificaciones durante el proceso de diseño. Se excluyen diez especies, a saber: *Anemone palmata* (L), *Avena sterilis* Delile, *homotypic synonym* de *Avena fatua* L. *Brachypodium phoenicoides* (L.) Roem. y Schult, *Chaenorhinum organifolium* subsp. *cotiellae* P.Monts. y G.Monts., *Ophrys lutea* Cav., *Ornithogalum baeticum* Boiss., *Sedum album* L., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau, *homotypic synonym* de *Petrosedum sediforme* subsp. *sediforme* (Jacq.) Grulich, *Thymus zygis* L., y *Trifolium subterraneum* L. No obstante, se añaden cuatro especies a la lista: *Coronilla valentina* subsp. *glauca* L., *Lavandula stoechas* L., *Quercus coccifera* L., y *Teucrium fruticans* L.

La lista definitiva del PE-PVQ está conformada por 17 especies, a saber: *Antirrhinum linkianum* Boiss. y Reut., *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch, *Cistus albidus* L., *Cistus salviifolius* L., *Coronilla valentina* subsp. *glauca* L., *Fritillaria lusitanica* subsp. *lusitanica* Wikstr., *Gladiolus illyricus* Koch, *Helichrysum stoechas* subsp. *stoechas* (L.) Moench., *Lavandula stoechas* L., *Ophrys fusca* subsp. *fusca* Link, *Orchis anthropophora* (L.) All., *Orchis italica* Poir., *Paeonia broteri* Boiss. y Reut., *Quercus coccifera* L., *Salvia rosmarinus* Spenn, *Salvia sclareoides* Brot., y *Teucrium fruticans* L. (Cancela et al., 2020) (véase Figura 18).



Figura 18. Especies del PE-PVQ, paisaje vegetal, objeto de estudio de la presente investigación (Elaboración propia, 2023).

3.6 Materiales y Métodos

3.6.1 Localización de las Especies

La información de ocurrencia de las especies durante el periodo de 1717-2023 se obtiene de la plataforma *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) en una resolución de grados decimales (GBIF, 2023a-q) (véase Cuadro 6). Únicamente, se utilizan los conjuntos de datos de presencia validados por especialistas, omitiendo los registros de ciencia ciudadana para reducir cualquier sesgo de muestreo, y se filtran los datos de presencia únicos, eliminando los datos de presencia duplicados.

Cuadro 6. Conjunto de datos de presencia de las especies validados por especialistas (Elaboración propia, 2023).

FUENTE	NOMBRE CIENTÍFICO	PERIODO	DATOS DE PRESENCIA	DATOS DE PRESENCIA ÚNICOS
GBIF (2023a)	<i>Antirrhinum linkianum</i> Boiss. y Reut.	1884 - 2017	83	68
GBIF (2023b)	<i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch.	1885 - 2022	123	112
GBIF (2023c)	<i>Cistus albidus</i> L.	1885 - 2023	257	223
GBIF (2023d)	<i>Cistus salviifolius</i> L.	1882 - 2023	861	530
GBIF (2023e)	<i>Coronilla valentina subsp. glauca</i> (L.) Batt.	1933 - 2020	96	80
GBIF (2023f)	<i>Fritillaria lusitanica subsp. lusitanica</i> Wikstr.	1940 - 2014	16	8
GBIF (2023g)	<i>Gladiolus illyricus</i> W.D.J.Koch.	1840 - 2022	78	72
GBIF (2023h)	<i>Helichrysum stoechas subsp. stoechas</i> (L.) Moench.	1881 - 2022	98	91
GBIF (2023i)	<i>Lavandula stoechas</i> L.	1879 - 2023	600	434
GBIF (2023j)	<i>Ophrys fusca</i> Link.	1887 - 2023	267	106
GBIF (2023k)	<i>Orchis anthropophora</i> (L.) All.	1717 - 2022	225	217
GBIF (2023l)	<i>Orchis italica</i> Poir.	1851 - 2022	348	148
GBIF (2023m)	<i>Paeonia broteroi</i> Boiss. y Reut.	1853 - 2022	163	136
GBIF (2023n)	<i>Quercus coccifera</i> L.	1888 - 2022	305	227
GBIF (2023o)	<i>Salvia rosmarinus</i> Spenn.	1844 - 2023	400	295
GBIF (2023p)	<i>Salvia sclareoides</i> Brot.	1846 - 2022	130	88
GBIF (2023q)	<i>Teucrium fruticans</i> L.	1886 - 2022	58	57

A continuación, en las Figuras del número 19 al número 35 se presentan las ubicaciones de los datos de presencia para las 17 especies del PE-PVQ (el número de registros únicos de la especie en Portugal continental se coloca entre paréntesis después del nombre científico de dicha especie). Además, se muestran las ubicaciones de cada especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ.



Figura 19. (A) Registros únicos de ocurrencia de *A. linkianum* (68) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PPP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 20. (A) Registros únicos de ocurrencia de *C. longifolia* (112) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PPP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 21. (A) Registros únicos de ocurrencia de *C. albidus* (223) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía propia, 2020. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP - 07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 22. (A) Registros únicos de ocurrencia de *C. salviifolius* (530) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Ana Júlia Pereira. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 23. (A) Registros únicos de ocurrencia de *C. valentina subsp. glauca* (80) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Cristina Estima Ramalho. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 24. (A) Registros únicos de ocurrencia de *F. lusitanica subsp. lusitanica* (8) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).

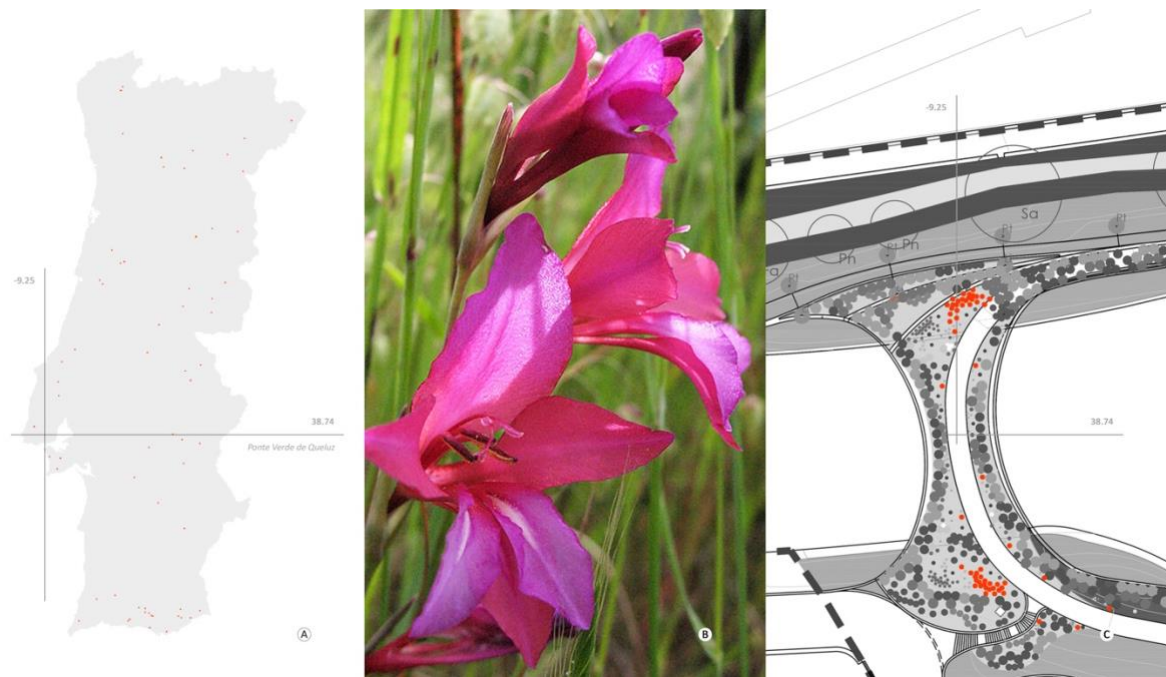


Figura 25. (A) Registros únicos de ocurrencia de *G. Illyricus* (72) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Patrícia Pinto da Silva. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 26. (A) Registros únicos de ocurrencia de *H. stoechas subsp. stoechas* (91) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Ana Júlia Pereira. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 27. (A) Registros únicos de ocurrencia de *L. stoechas* (434) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).

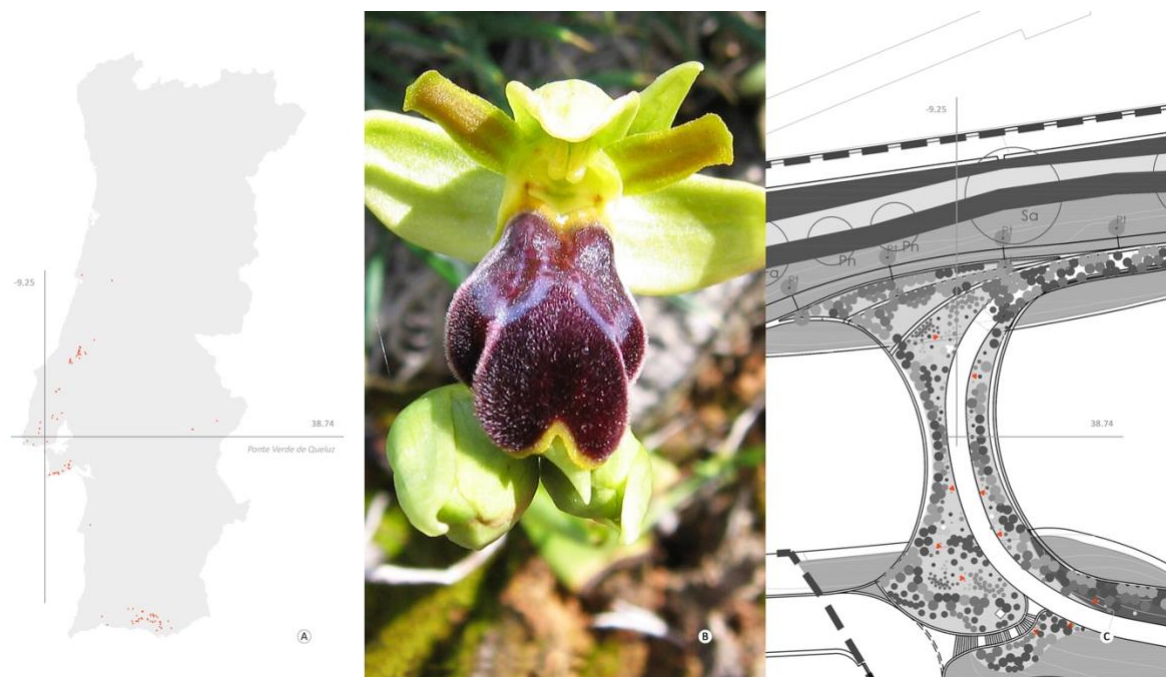


Figura 28. (A) Registros únicos de ocurrencia de *O. fusca* (106) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Elizabete Carmo-Silva. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).

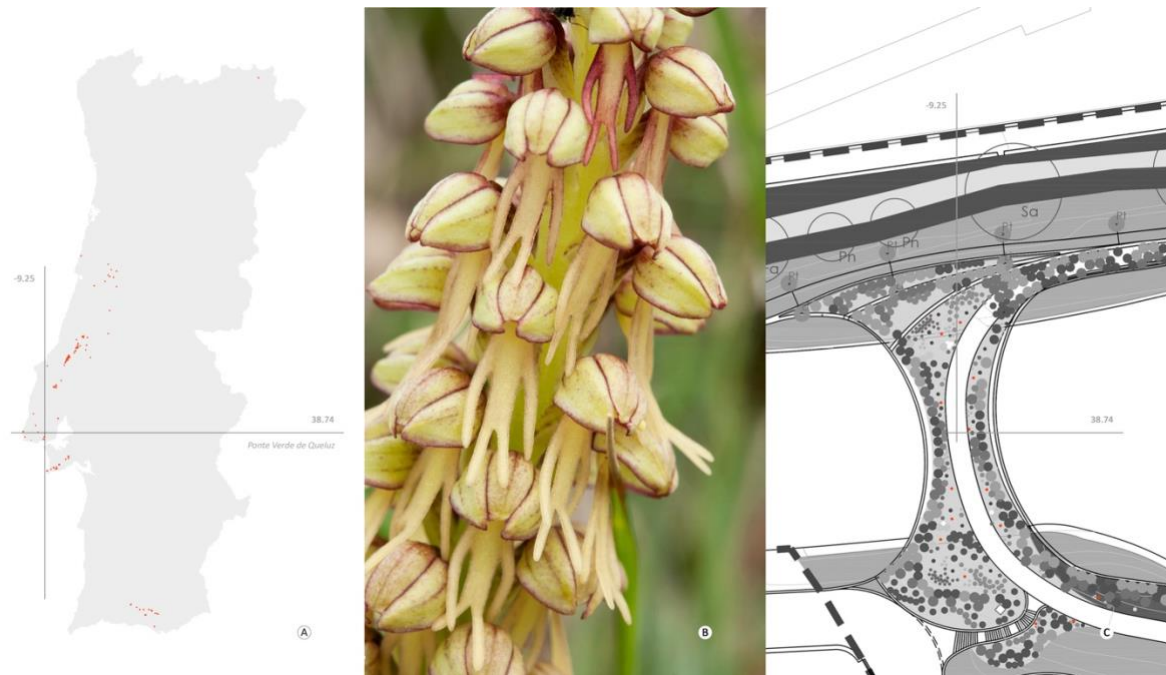


Figura 29. (A) Registros únicos de ocurrencia de *O. anthropophora* (217) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 30. (A) Registros únicos de ocurrencia de *O. italica* (148) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía propia, 2018. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 31. (A) Registros únicos de ocurrencia de *P. broteroi* (136) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).

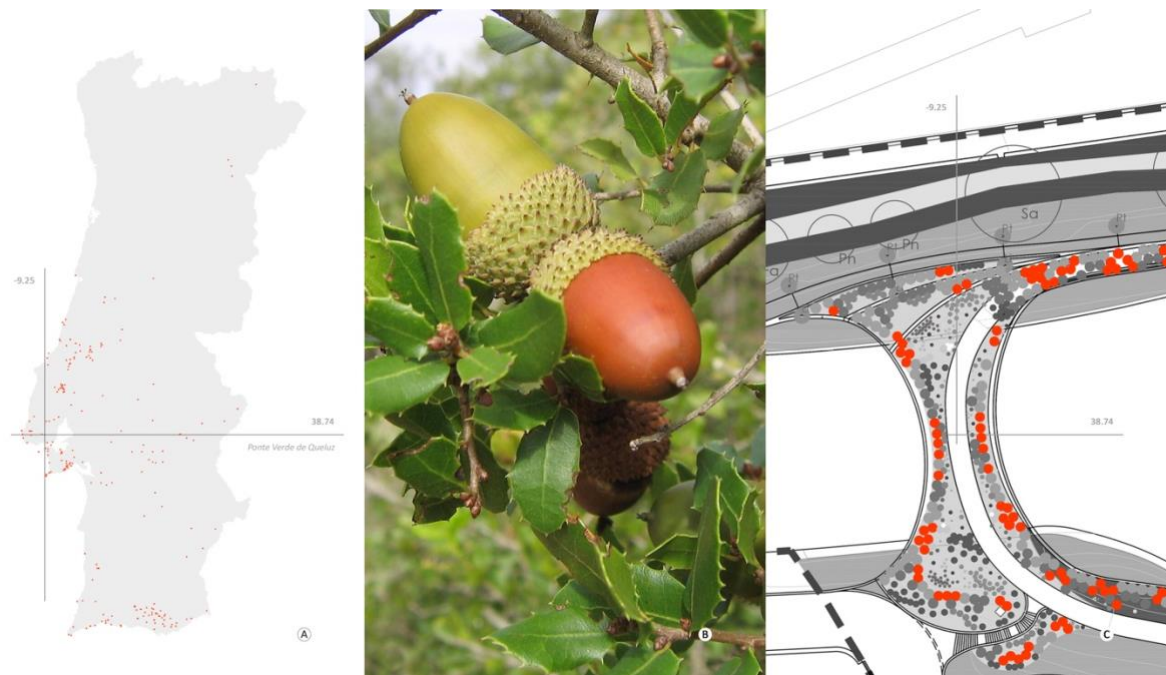


Figura 32. (A) Registros únicos de ocurrencia de *Q. coccifera* (227) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Sergio Chozas. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 33. (A) Registros únicos de ocurrencia de *S. rosmarinus* (295) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 34. (A) Registros únicos de ocurrencia de *S. sclareoides* (88) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Paulo Ventura Araújo. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).



Figura 35. (A) Registros únicos de ocurrencia de *T. fruticans* (57) en Portugal continental (Elaboración propia, 2023). (B) Fotografía de Miguel Porto. (C) Ubicación de la especie en la Planta de Plantación y Siembra del PE-PVQ (Fase I). Diseño N° AP -07 (Lamina 17007PEAP07PP0). Escala 1:200 (Cancela *et al.*, 2020).

La especie *F. lusitanica subsp. lusitanica* Wikstr., presenta un total de ocho registros únicos de ocurrencia en Portugal continental, tal como se detalla en GBIF (2023f). La cantidad de datos de presencia requeridos para la ejecución efectiva de un modelo puede variar en función de varios factores, incluyendo la complejidad del problema, la distribución de las especies, la disponibilidad de datos ambientales y la calidad de los datos de presencia. En términos generales, se sugiere que se disponga de al menos entre 20 y 30 registros de presencia para lograr un desempeño adecuado del modelo (Zhu, 2023). La confianza estadística en las correlaciones subyacentes a los modelos disminuye cuando el tamaño de la muestra es reducido o la cobertura espacial resulta insuficiente, lo que a su vez incrementa la incertidumbre asociada a la extrapolación de las distribuciones hacia áreas más amplias (Hernandez *et al.*, 2006).

Con base en lo anteriormente expuesto, la especie *F. lusitanica subsp. lusitanica* Wikstr., ha sido excluida de la lista de especies sometidas a modelado. Como resultado, no se incluyen en esta investigación los mapas que visualizan el área potencial del rango actual y futuros (año 2070) de su hábitat de distribución bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Esta situación contrasta con el enfoque adoptado para las demás especies que conforman el paisaje vegetal del PE-PVQ.

3.6.2 Variables Medioambientales

Para capturar la información del hábitat de distribución actual en los SDMs, se utilizan los siguientes datos medioambientales: (a) datos de elevación, pendiente y orientación de *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Farr *et al.*, 2007); (b) 19 variables bioclimáticas de *WorldClim BIO V1*, derivadas de temperaturas y precipitaciones estacionales, mensuales y anuales generadas desde un punto de vista biológico más significativo (Hijmans *et al.*, 2005); (c) la variable de precipitación con datos de estaciones *in situ* de *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS), series temporales de precipitaciones cuadrículas para el análisis de tendencias y vigilancia estacional de sequías (Funk *et al.*, 2015); (d) diez variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre de *Copernicus Global Land Cover Layers* (CGLS-LC100 *Collection 3*), serie de productos biogeofísicos sobre el estado y la evolución de la superficie terrestre a escala global (Buchhorn *et al.*, 2020); (e) siete variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre y los factores biogeoquímicos de MCD12Q1, versión 6.1, del *Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS*) combinado de Terra y Aqua (Friedl y Sulla-Menashe, 2022); (f) tres índices de vegetación de *Suomi National Polar-Orbiting Partnership* (S-NPP) *NASA Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) *Vegetation Indices* (VNP13A1) (Didan y Barreto, 2018); y (g) una medida acumulativa de la modificación humana de la cobertura terrestre mapeada por cinco de los principales factores de estrés antropogénico alrededor de 2016 de *global Human Modification* (gHM) (Kennedy *et al.*, 2019) (véase Figuras 36 a 38).

En el Cuadro 7 se ofrece una visión integral y detallada de cada una de las variables medioambientales empleadas en esta investigación, incluyendo su resolución espacial y disponibilidad temporal (año, mes y día). Las 44 variables medioambientales se recortan para abarcar el área del territorio continental portugués y se re-proyectaron al conjunto de datos CGLS-LC100 *Collection 3*, excluyendo las variables de elevación, pendiente y orientación.

Cuadro 7. Conjunto de datos con sus variables medioambientales, resolución espacial, y disponibilidad temporal (Elaboración propia, 2023).

CONJUNTO DE DATOS		VARIABLES MEDIOAMBIENTALES	RESOLUCIÓN ESPACIAL	DISPONIBILIDAD (año-mes-día)
a	SRTM (tres variables)	(1) Elevación, (2) Pendiente y (3) Orientación	30 metros	2000-02-11 al 2000-02-22
b	WorldClim BIO V1 (19 variables)	(4) Temperatura media anual (bio1), (5) Rango diurno medio temp max/min (bio2), (6) Isoterma bio02/bio07 (bio3), (7) Estacionalidad de la temperatura (bio4), (8) Temperatura máxima del mes más cálido (bio5), (9) Temperatura mínima del mes más frío (bio6), (10) Rango anual de temperatura bio05/bio06 (bio7), (11) Temperatura media del trimestre más húmedo (bio8), (12) Temperatura media del trimestre más seco (bio9), (13) Temperatura media del trimestre más cálido (bio10), (14) Temperatura media del trimestre más frío (bio11), (15) Precipitación anual (bio12), (16) Precipitación del mes más húmedo (bio13), (17) Precipitación del mes más seco (bio14), (18) Estacionalidad de las precipitaciones (bio15), (19) Precipitación del trimestre más húmedo (bio16), (20) Precipitación del trimestre más seco (bio17), (21) Precipitación del trimestre más cálido (bio18) y (22) Precipitación del trimestre más frío (bio19)	1,000 metros	1960-01-01 al 1991-01-01
c	CHIRPS (una variable)	(23) Precipitación mensual (datos de estaciones in situ)	5,566 metros	1991-01-01 al 2023-01-01
d	CGLS-LC100 Collection 3, (diez variables)	(24) Clasificación de la Cobertura Terrestre (25) Tipo de bosque, (26) Bosque ralo, (27) Cultivos, (28) Hierba, (29) Arbusto, (30) Árbol, (31) Urbano, (32) Agua permanente y (33) Agua estacional	100 metros	2015-01-01 al 2019-12-31
e	MCD12Q1.061 MODIS (siete variables)	(A) Tipos de Cobertura Terrestre: (34) Tipo 1: Clasificación anual del Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) por sus siglas en inglés: Annual International Geosphere-Biosphere Programme, (35) Tipo 3: Clasificación del índice anual de superficie foliar (LAI), por sus siglas en inglés: Annual Leaf Area Index, (36) Tipo 4: Clasificación anual BIOME-Ciclos biogeoquímicos (BGC), por sus siglas en inglés: Annual BIOME-Biogeochemical Cycles y (37) Tipo 5: Clasificación de los tipos funcionales de plantas anuales (B) Tipos de Clasificación de Cobertura Terrestre de Food and Agriculture Organization (FAO) (LCCS), por sus siglas en inglés: Land Cover Classification System: (38) Capa de la tierra FAO LCCS1, (39) FAO-LCCS2 Capa del uso de la tierra, (40) LCCS3 Capa de la hidrología de la superficie	500 metros	2001-01-01 al 2023-01-01
f	VNP13A1: VIIRS (tres índices de vegetación)	(41) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), por sus siglas en inglés: Normalized Difference Vegetation Index, (42) Índice de Vegetación Mejorado (EVI), por sus siglas en inglés: Enhanced Vegetation Index y (43) Índice de Vegetación Mejorado-2 (EVI2), por sus siglas en inglés: Enhanced Vegetation Index-2	500 metros	2012-01-17 al 2023-01-01
g	gHM (una variable)	(44) Se mapearon cinco factores de estrés antropogénicos principales, utilizando 13 conjuntos de datos individuales: - Asentamientos humanos (densidad de población, zonas edificadas) - Agricultura (tierras de cultivo, ganado), - Transporte (carreteras principales, secundarias y de dos vías; ferrocarriles), - Minería y producción de energía, e - Infraestructuras eléctricas (tendidos eléctricos, iluminación nocturna)	1 000 metros	2016-01-01 al 2016-12-31

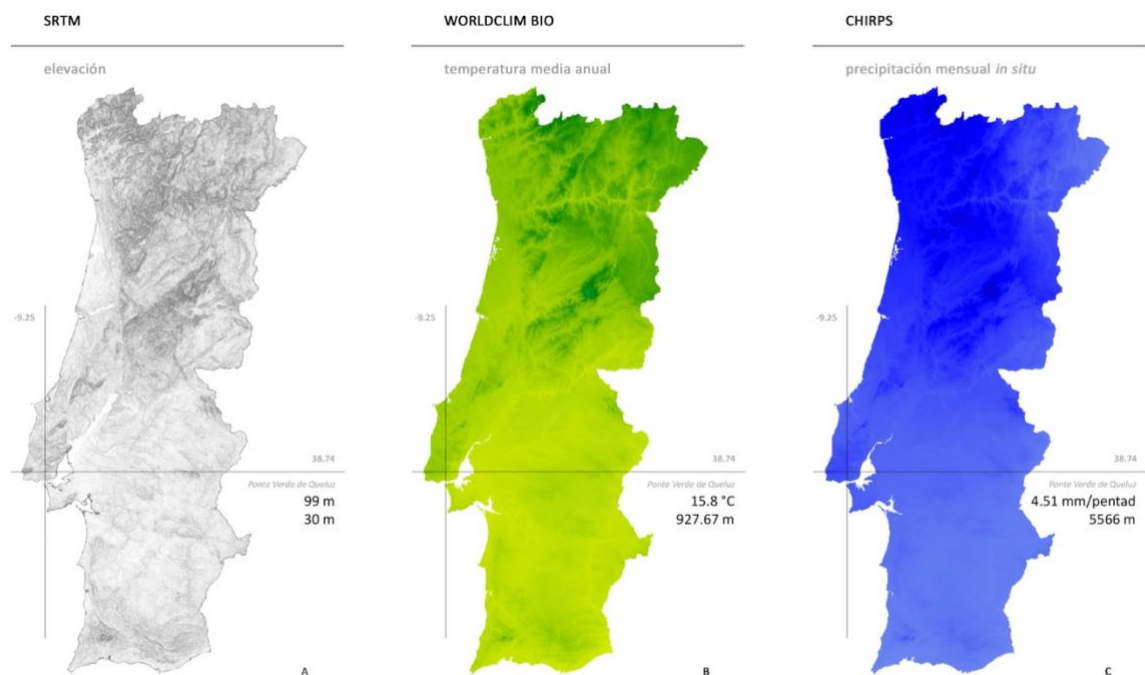


Figura 36. (A) Datos de elevación, pendiente y orientación (Farr *et al.*, 2007). (B) 19 Variables bioclimáticas derivadas de temperaturas y precipitaciones estacionales, mensuales y anuales (Hijmans *et al.*, 2005). (C) Precipitación con datos de estaciones *in situ* (Funk *et al.*, 2015). (Elaboración propia, 2023).

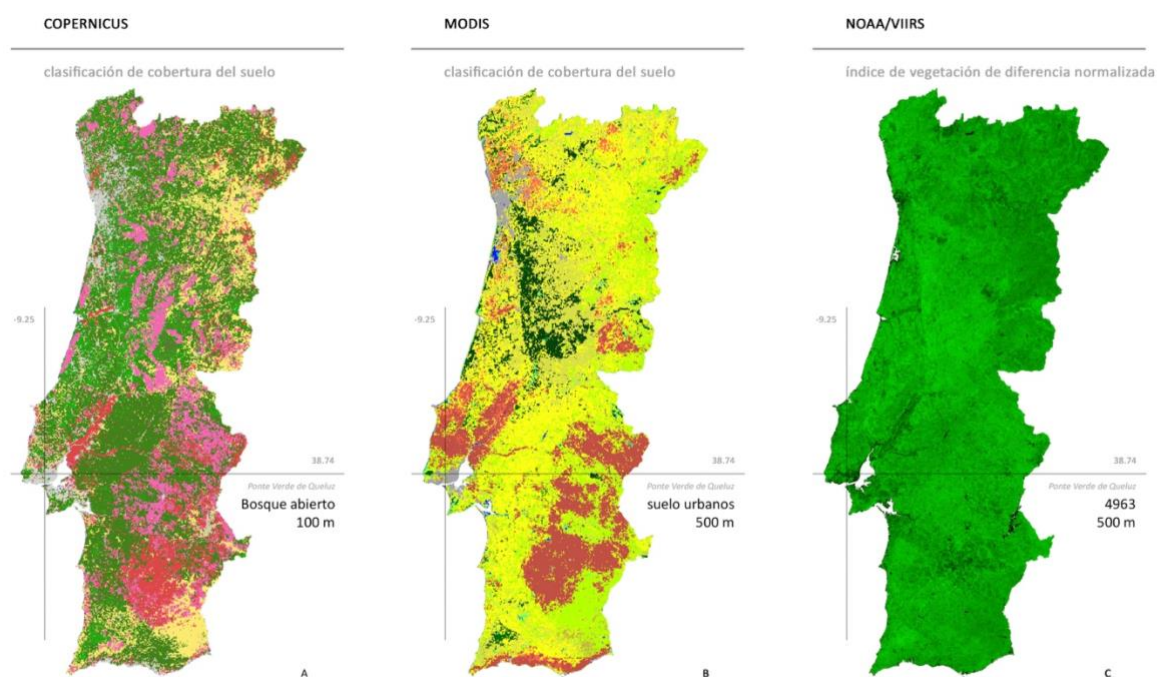


Figura 37. (A) Diez variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre (Buchhorn *et al.*, 2020). (B) Siete variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre y los factores biogeoquímicos (Friedl y Sulla-Menashe, 2022). (C) Tres índices de vegetación (Didan y Barreto, 2018). (Elaboración propia, 2023).

GHM

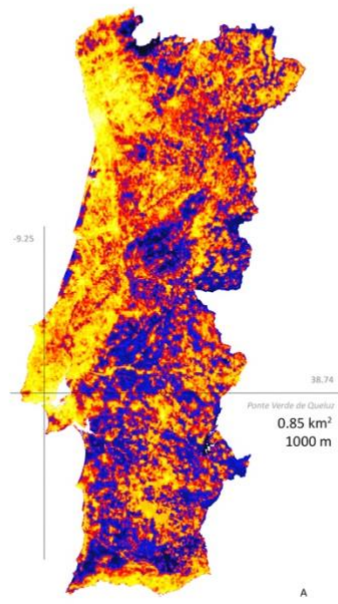


Figura 38. (A) Una medida acumulativa de la modificación humana de la cobertura terrestre (Kennedy *et al.*, 2019).
(Elaboración propia, 2023).

3.6.3 Escenarios de Cambio Climático CMIP6: *histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5

Para predecir los hábitats de distribución de las especies en la actualidad, y proyectarlos para el año 2070, se emplean los datos del *Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (AR6 IPCC), los cuales se derivan del conjunto de datos *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections* (NEX-GDDP-CMIP6) de Thrasher *et al.* (2012, 2022). Este conjunto de datos comprende escenarios climáticos globales escalados, obtenidos de simulaciones realizadas por los *Modelos Climáticos Globales* (GCMs), en el contexto del *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6* (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*, CMIP6) el cual ha adquirido una relevancia sustancial en el ámbito de la ciencia climática (Eyring *et al.*, 2016).

En los GCMs CMIP6 se reconoce que los niveles de forzamiento radiativo global pueden alcanzarse mediante diferentes vías de dióxido de carbono (CO₂), gases de efecto invernadero (GEI) distintos del CO₂, aerosoles (Amann *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2017) y uso de la tierra. Por lo tanto, se establece una matriz de niveles de forzamiento global y argumentos socioeconómicos. El conjunto de *Trayectorias Socioeconómicas Compartidas* (*Shared Socioeconomic Pathways*, SSPs), es decir, desarrollos socioeconómicos con argumentos relativos (entre otras cosas) al Producto Interno Bruto (PIB), la población, la urbanización, la colaboración económica y las proyecciones de desarrollo humano y tecnológico, describen diferentes mundos futuros en ausencia de cambio climático y de políticas climáticas adicionales (O'Neill *et al.*, 2014).

El *Proyecto de Intercomparación de Modelos de Escenarios* (*Scenario Model Intercomparison Project*, ScenarioMIP) identifica cuatro escenarios prioritarios (Nivel 1): SSP1-2.6 para trayectorias sostenibles, SSP2-4.5 para trayectorias intermedias, SSP3-7.0 para rivalidad regional y SSP5-8.5 para un desarrollo rico en combustibles fósiles (O'Neill *et al.*, 2016). Se selecciona el escenario *histórico* CMIP6, en el cual se designaron ejecuciones retrospectivas del modelo y dos escenarios de cambio climático CMIP6 para tener en cuenta la incertidumbre del futuro: SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Cuadro 8). Para cada uno de los tres escenarios, se seleccionan dos GCMs: el *Modelo del Sistema Terrestre Comunitario Versión 2* (*Community Earth System Model Version 2*, CESM2) (Danabasoglu *et al.*, 2020) y el *Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima 6* (*Model for Interdisciplinary Climate Research 6*, MIROC6) (Tatebe *et al.*, 2019).

Cuadro 8. Conjunto de datos NEX-GDDP-CMIP6 con sus variables medioambientales, GCMs y escenarios seleccionados, resolución espacial y disponibilidad temporal (Elaboración propia, 2023).

CONJUNTO DE DATOS	VARIABLES MEDIOAMBIENTALES	GCM	ESCENARIO	RESOLUCIÓN ESPACIAL	DISPONIBILIDAD (año-mes-día)
NEX-GDDP-CMIP6	(1) Temperatura, (2) Temperatura mínima (no disponible en CESM2), (3) Temperatura máxima (no disponible en CESM2), (4) Precipitaciones, (5) Humedad relativa, (6) Humedad específica (no disponible en MIROC6), (7) Radiación de onda larga, (8) Radiación de onda corta, y (9) Velocidad del viento.	CESM2	histórico	27,830 metros	1981-01-01 al 2015-01-01
			SSP2-4.5		2061-01-01 al 2080-01-01
			SSP5-8.5		2061-01-01 al 2080-01-01
		MIROC6	histórico		1981-01-01 al 2015-01-01
			SSP2-4.5		2061-01-01 al 2080-01-01
			SSP5-8.5		2061-01-01 al 2080-01-01

En el marco de CMIP6, existen 56 GCMs desarrollados por diferentes instituciones y grupos de investigación en todo el mundo. Cada modelo tiene sus propias características y enfoques; la diversidad de modelos ayuda a comprender mejor la complejidad del clima y a mejorar las proyecciones climáticas (Chen *et al.*, 2021). Con la utilización de los modelos seleccionados, es posible predecir las condiciones bioclimáticas y SSPs tanto del pasado como del futuro, lo que permite obtener tres conjuntos de condiciones bioclimáticas y SPPs previstas para cada especie modelada. En la Figura 39 se representan los escenarios de cambio climático (*histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) y los conjuntos de datos de las 44 variables medioambientales utilizados en la presente investigación.

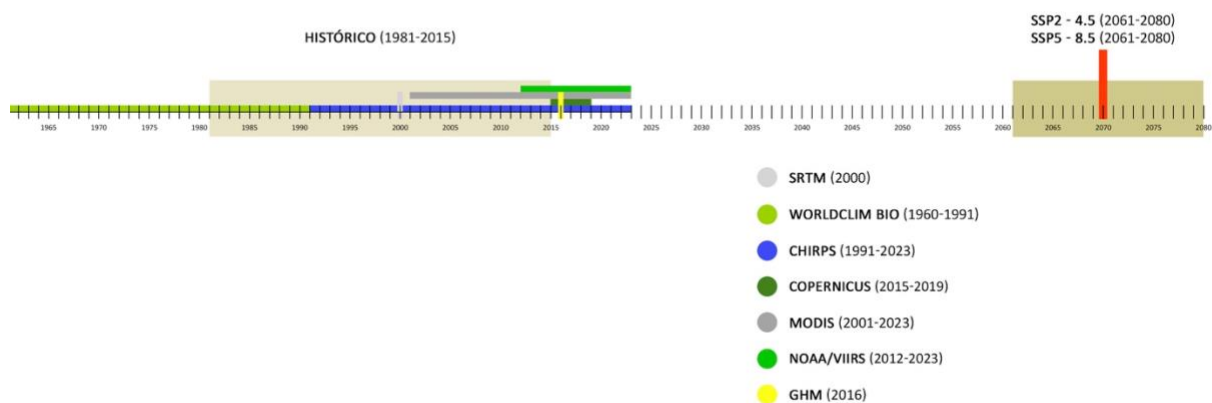


Figura 39. Representación gráfica, línea de tiempo con los escenarios de cambio climático (*histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) y los conjuntos de datos de las 44 variables medioambientales (Elaboración propia, 2023).

A continuación, se puede apreciar en las Figuras 40 y 41 la diferencia entre las simulaciones de la variable de temperatura media anual de CESM2 y MIROC6 para el Área de Estudio en el escenario de cambio climático *histórico* (actual), SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para el año 2070.

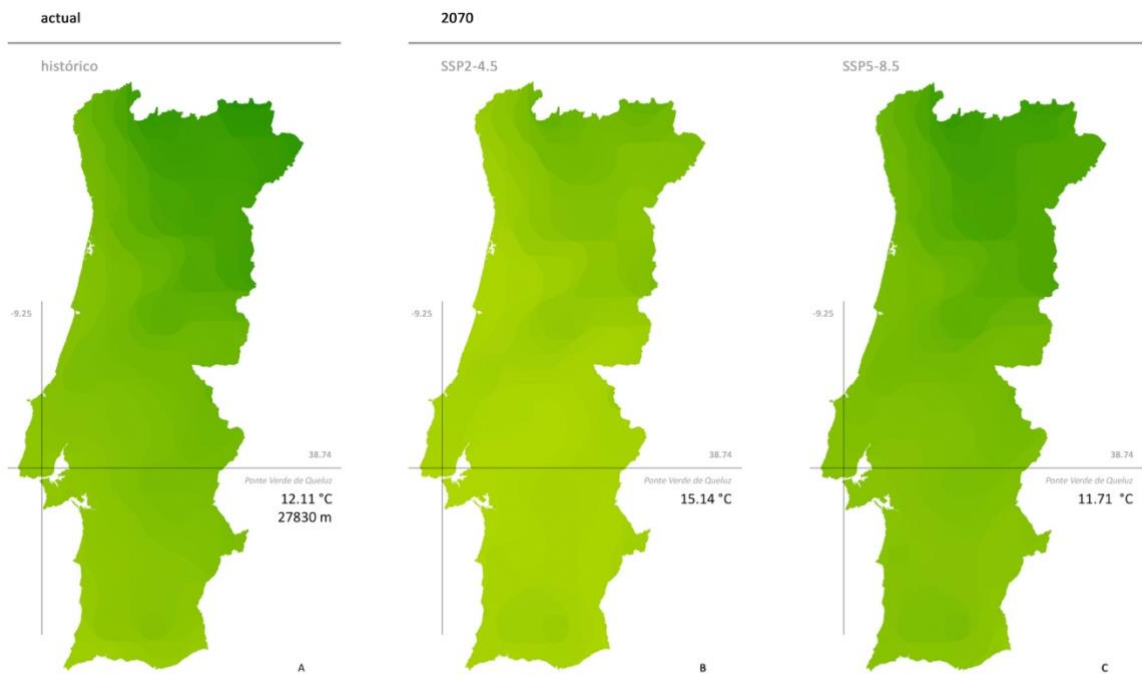


Figura 40. Temperatura media anual de CSM2 (Danabasoglu *et al.*, 2020), en la actualidad y en el año 2070. (A) Escenario *histórico*. (B) Escenario SSP2-4.5. (C) Escenario SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

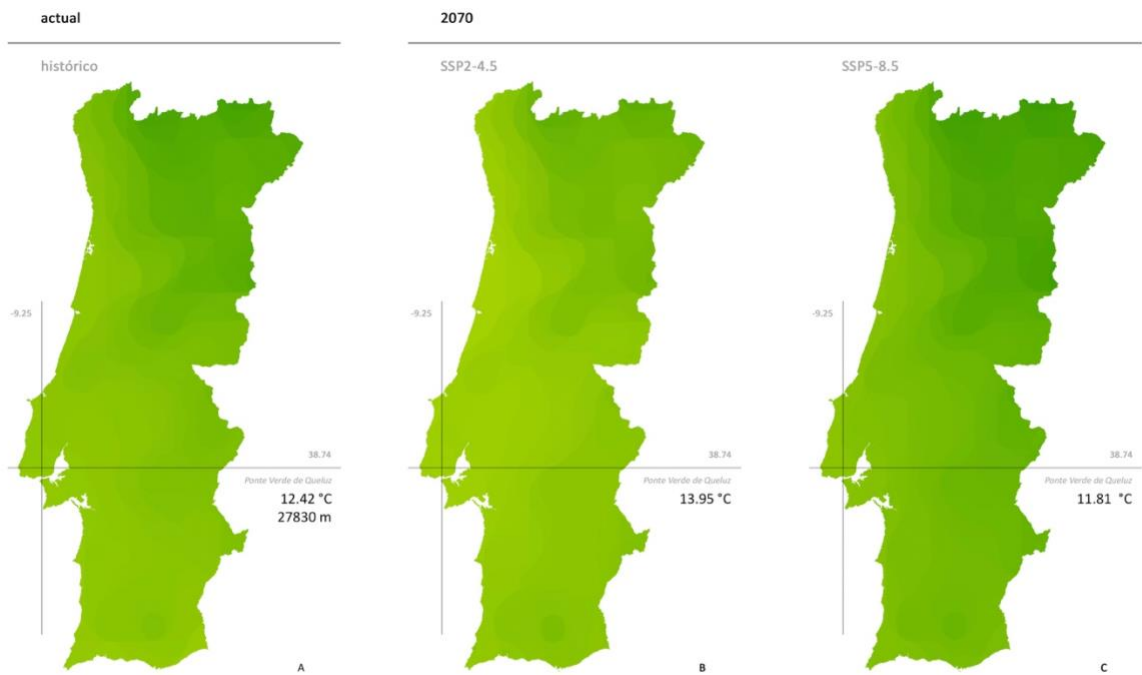


Figura 41. Temperatura media anual del MIROC6 (Tatebe *et al.*, 2019), en la actualidad y en el año 2070. (A) Escenario *histórico*. (B) Escenario SSP2-4.5. (C) Escenario SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

3.6.4 Modelización de la Distribución de las Especies Estudiadas

La modelización de la distribución de las especies se lleva a cabo utilizando la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) versión 1.0.0. Esta plataforma ofrece acceso a un catálogo de datos de varios *petabytes* para análisis geospaciales a través de una *Interfaz de Programación de Aplicaciones* (*Application Programming Interface*, API) y un *Entorno de Desarrollo Interactivo* (*Interactive Development Environment*, IDE), que permiten la creación rápida de prototipos y la visualización de resultados (Gorelick *et al.*, 2017). Los datos, modelos climáticos y algoritmos estadísticos y de aprendizaje automático seleccionados, así como los códigos desarrollados, siguen en gran medida las pautas generales propuestas por Zhu *et al.* (2022), White (2021) y Zurell (2020). Además, se han considerado las recomendaciones complementarias de OpenAI (2023) y Gandhi (2020), adaptándolas al contexto específico de este estudio.

Se construyen los modelos SDMs actual y futuros para cada especie utilizando dos algoritmos de aprendizaje automático: MaxEnt (versión 3.4.1) y *Random Forest* (versión Library Smile 1.5.3).

El algoritmo MaxEnt es un modelo de máxima entropía que utiliza datos de presencia únicamente para modelar las distribuciones geográficas de las especies. Estima una distribución de probabilidad objetiva al encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, sujeta a un conjunto de restricciones que representan información incompleta sobre la distribución objetiva (Phillips, Anderson y Schapire, 2006). La salida por defecto de los modelos MaxEnt es logística, lo cual es más fácil de conceptualizar, proporciona un estimado entre cero (0) y uno (1) de probabilidad de presencia, esta salida logística estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen una probabilidad de presencia de alrededor de 0.5 (Phillips, s.f.).

El algoritmo *Random Forest* (RF) es una combinación de una serie de clasificadores de estructura de árbol. Consta de muchos árboles de decisión que generan el voto mayoritario de los árboles individuales, y combina la idea de *bagging* y la selección aleatoria de características (Liu, Wang, y Zhang, 2012). *Bagging* significa *bootstrap aggregation* (Zurell, 2020), es un método que proporciona una forma computacional directa de evaluar la incertidumbre, mediante la muestra de los datos de entrenamiento (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009). Este método promedia los resultados de muchos diferentes Árboles de Clasificación y Regresión (*Classification and Regression Trees*, CARTs) (Liaw y Wiener, 2002). RF es muy popular, funciona extraordinariamente bien y requiere muy pocos ajustes (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009). Una característica importante de los RFs es el uso de muestras fuera de la bolsa (*Out-of-Bag*, OOB), lo que significa que la predicción para un punto de datos específico solo se deriva de promediar árboles que no incluyeron este punto de datos durante el crecimiento de los árboles (Zurell, 2020).

Se seleccionan 31 variables ambientales para los primeros análisis. El coeficiente de correlación de Pearson entre las siguientes variables es $|r| < 0.8$, por lo que no hay problemas de multicolinealidad (Dormann *et al.*, 2013): (1) Elevación (m), (2) Pendiente (%), (3) Orientación (°), (4) Temperatura media anual (Bio1) (°C), (5) Rango diurno medio temp max/min (bio2) (°C), (6) Isotermia bio02/bio07 (bio3) (%), (7) Estacionalidad de la temperatura (bio4) (°C), (8) Temperatura máxima del mes más cálido (bio5) (°C), (9) Precipitación anual (bio12) (mm), (10) Estacionalidad de las precipitaciones (bio15) (CV), (11) Precipitación mensual (datos de estaciones in situ) (mm/pentad), (12) Clasificación de la Cobertura Terrestre, (13) Tipo de bosque, (14) Bosque ralo (%), (15) Cultivos (%), (16) Hierbas (%), (17) Arbustos (%), (18) Árbol (%), (19) Urbano (%), (20) Agua permanente (%), (21) Agua estacional (%), (22) IGBP, (23) LAI, (24) BGC, (25) FAO LCCS1, (26) NDVI, (27) EVI2, (28) gHM (km²). No obstante, se adicionan tres variables de alta correlación $|r| > 0.9$: (29) Clasificación de los tipos funcionales de plantas anuales entre BGC, debido a que se pueden utilizar para analizar diferentes aspectos de la vegetación en un área determinada, y (30) FAO-LCCS2 y (31) FAO LCCS3 entre FAO LCCS1, debido a que proporcionan información detallada sobre la forma en que se utiliza y se gestiona la cobertura terrestre.

El hábitat actual de las especies se estima utilizando las condiciones climáticas del escenario *histórico*. Para los hábitats futuros, se utilizan las condiciones climáticas de dos escenarios de cambio climático (SSP2-4.5 y SSP5-8.5), los cuales incluyen descriptores de forzamiento climático relacionados con la cobertura terrestre e impactos antropogénicos, como patrones de cambio y gestión del uso del suelo, así como datos de cambio de uso y cobertura de tierras a nivel global (Hurtt *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2020). De las 31 variables ambientales previamente seleccionadas, solo se utilizan variables bioclimáticas y variables medioambientales relacionadas con la cobertura terrestre y factores biogeoquímicos para los escenarios futuros, ya que no están disponibles índices de vegetación como NDVI y EVI2 para los mismos.

En resumen, se dispone de información acerca de la ocurrencia de las especies, lo que permite establecer correlaciones con las variables medioambientales y, por ende, identificar el hábitat de distribución potencial para cada especie. Además, se cuentan con los escenarios de cambio climático seleccionados, los cuales se derivarán de las simulaciones realizadas con dos modelos climáticos globales, CESM2 y MIROC6 (véase la Figura 42). Finalmente, se procede a la ejecución de dos modelos de distribución de especies mediante los algoritmos de aprendizaje automático MaxEnt y RF. Como resultado final, se generan mapas de consenso para cada especie modelada en cada escenario climático (véase la Figura 43).

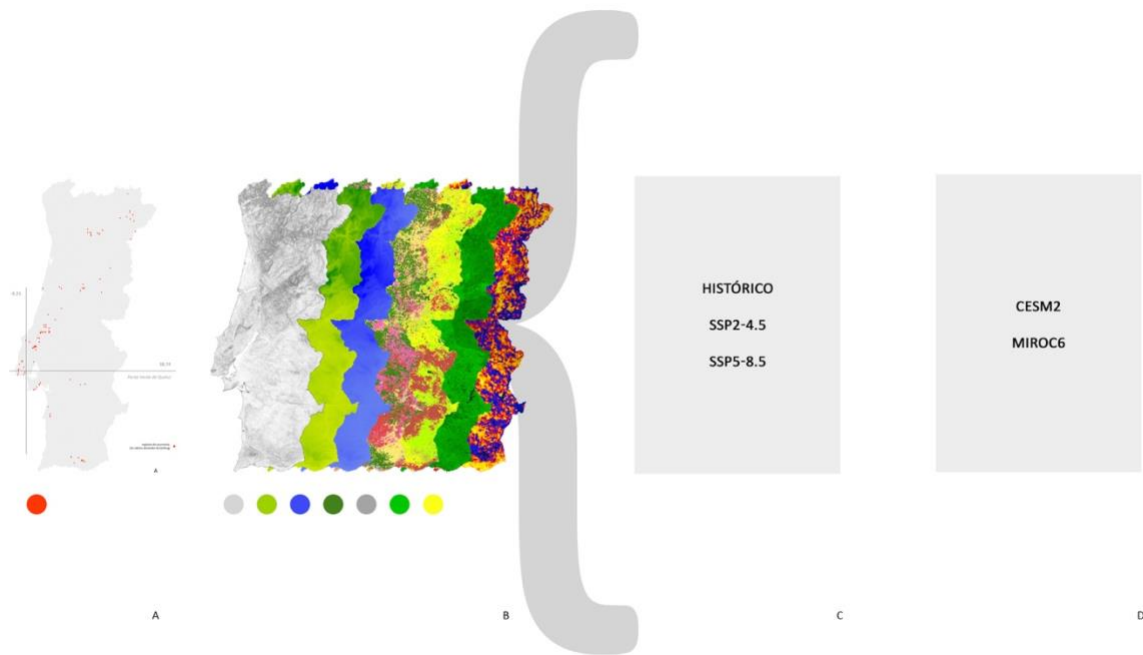


Figura 42. (A) Puntos de color anaranjado representan los registros de ocurrencia de *C. longifolia* en Portugal continental. (B) Variables medioambientales (44). (C) Escenarios de cambio climático seleccionados del CMIP6: *histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5. (D) GCMs CMIP6 seleccionados (Elaboración propia, 2023).

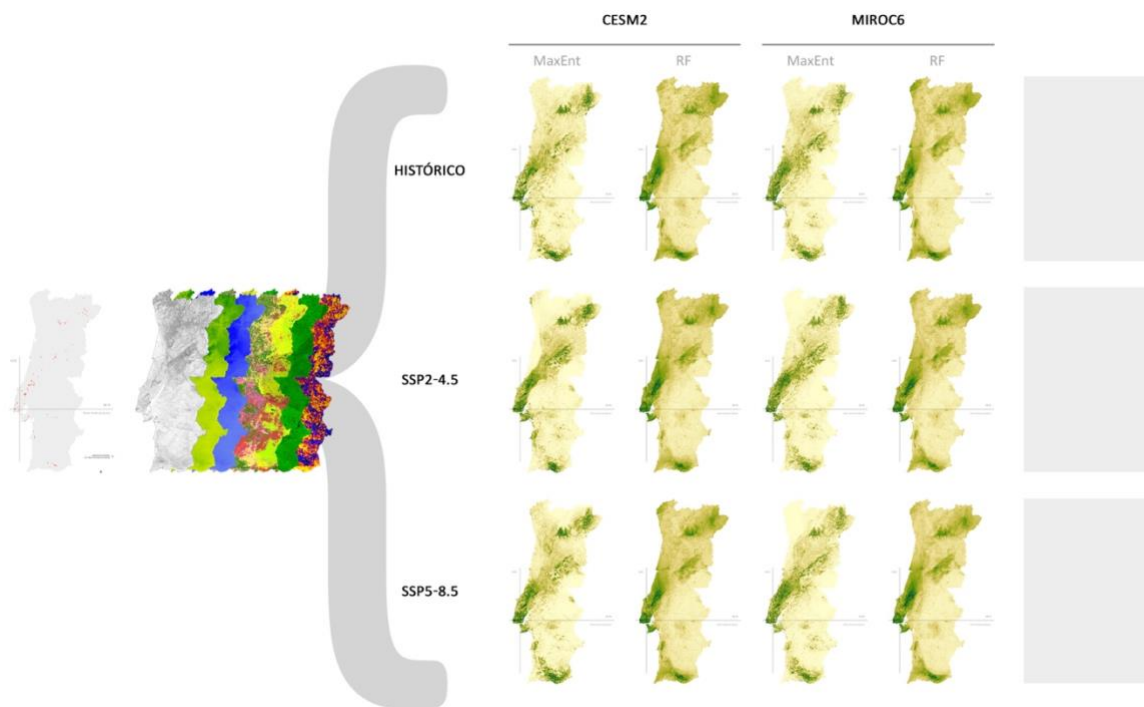


Figura 43. Visualización de resultados: Escenarios de cambio climático (*histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) y GCMs con sus respectivos modelos SDMs actual y futuros para *C. longifolia* utilizando dos algoritmos de aprendizaje automático: MaxEnt y RF (Elaboración propia, 2023).

3.6.5 Evaluación de Modelo

Antes de evaluar el rendimiento de los modelos, se eliminan los registros duplicados de presencia y se generan puntos de ausencia uniformemente aleatorios dentro del territorio continental portugués. La generación de estos puntos se basa en el estado de la cobertura terrestre y el uso del suelo del año 2018, según el inventario *Copernicus CORINE Land Cover* (CORINE), que recopila datos sobre la tierra en Europa para apoyar el desarrollo de políticas ambientales (Agencia Europea de Medio Ambiente [EEA], 2020). Los puntos de ausencia, con valor (0) se generan en una proporción de 1:2 con respecto a los puntos de presencia, con valor (1). Esto significa que se generan el doble de puntos de ausencia en áreas verdes urbanas, áreas forestales, semi-naturales y agrícolas, y se mantiene la misma cantidad de puntos en áreas de humedades, cuerpos de agua y superficies artificiales.

En los modelos MaxEnt, el 75% de los registros de presencia se asignan aleatoriamente al conjunto de datos de entrenamiento y el 25% al conjunto de datos de prueba. La precisión predictiva de los modelos MaxEnt se evalúa mediante la puntuación AUC media (Área Bajo la Curva de Operación del Receptor ROC, media \pm SD), por sus siglas en inglés: *Area Under the Curve* y *Receiver Operating Characteristic*, respectivamente. Esta medida es la auténtica prueba de la capacidad que tienen los modelos de predecir (Phillips, Anderson y Schapire, 2006). En los modelos RFs, el 80% de los registros de presencia se asignan aleatoriamente al conjunto de datos de entrenamiento y el 20% al conjunto de datos de prueba. Para evaluar la precisión predictiva para los clasificadores de los modelos RFs, se utilizan (i) los datos de entrenamiento para generar la matriz de confusión (*Confusion Matrix*); (ii) los datos de prueba para generar la matriz de error (*errorMatrix*), la precisión global (*Overall Accuracy*), el coeficiente Kappa (κ), la precisión del productor (*Producer's Accuracy*), y la precisión del consumidor (*Consumer's Accuracy*); y (iii) la estimación del *out-of-bag* (OOB) (Breiman, 1996b; Breiman, 2001; Wu, 2020; White, 2021) (véase Cuadro 9).

En ambos modelos, se estima la importancia de las variables mediante un procedimiento de permutación. Se utiliza la métrica *Mean Decrease Accuracy* (%IncMSE), que evalúa la reducción promedio en la precisión por cada variable cuando se permuta. Asimismo, se emplea la importancia en el índice de división de *Gini*, conocida como *Mean Decrease Gini* (IncNodePurity), la cual cuantifica las divisiones en los árboles para medir la importancia de la variable para el modelo (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2009; Zurell, 2020). Se rastrean las variables que contribuyen en mayor medida al modelo y se eliminan aquellas que contribuyen menos del 1% al modelo. Para probar la robustez de los SDMs al predecir el rango de distribución actual, se utiliza un modelo que contiene los registros de presencia y ausencia de cada una de las especies en Portugal continental para verificar si el modelo predice correctamente el rango de distribución en España, a más de 750 km de distancia.

Cuadro 9. Evaluación del rendimiento de cada uno de los modelos CESM2 y MIROC6, la media (μ) entre estos, y la predicción en conjunto entre los dos algoritmos SDMs (μ prueba; μ entrenamiento) (Elaboración propia, 2023).

Nombre científico (datos de presencia únicos)	Puntuaciones de evaluación	CESM2	MIROC6	media (μ)	μ prueba	μ entrenamiento
1 <i>Antirrhinum linkianum</i> (68)					0,9381	0,9787
MaxEnt	AUC prueba	0,9464	0,9291	0,9377		
	AUC entrenamiento	0,9591	0,9556	0,9573		
RF	Precisión global prueba	0,9385	0,9385	0,9385		
	coeficiente Kappa (κ) prueba	0,8513	0,8513	0,8513		
	Precisión global entrenamiento	1,0000	1,0000	1,0000		
	coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	1,0000	1,0000	1,0000		
	Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,1352	0,1057	0,1205		
2 <i>Cephalanthera longifolia</i> (112)					0,8915	0,9758
MaxEnt	AUC prueba	0,8846	0,8643	0,8744		
	AUC entrenamiento	0,9553	0,9481	0,9517		
RF	Precisión global prueba	0,9146	0,9024	0,9085		
	coeficiente Kappa (κ) prueba	0,7724	0,7357	0,7540		
	Precisión global entrenamiento	1,0000	1,0000	1,0000		
	coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	1,0000	1,0000	1,0000		
	Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,1221	0,1374	0,1298		
3 <i>Cistus albidus</i> (223)					0,9393	0,9713
MaxEnt	AUC prueba	0,9482	0,8973	0,9227		
	AUC entrenamiento	0,9398	0,9522	0,9460		
RF	Precisión global prueba	0,9529	0,9588	0,9559		
	coeficiente Kappa (κ) prueba	0,8423	0,8569	0,8496		
	Precisión global entrenamiento	0,9958	0,9972	0,9965		
	coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9886	0,9924	0,9905		
	Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0838	0,0824	0,0831		
4 <i>Cistus salviifolius</i> (530)					0,9449	0,9566
MaxEnt	AUC prueba	0,8912	0,9150	0,9031		
	AUC entrenamiento	0,9213	0,9148	0,9181		
RF	Precisión global prueba	0,9868	0,9864	0,9866		
	coeficiente Kappa (κ) prueba	0,6338	0,6202	0,6270		
	Precisión global entrenamiento	0,9950	0,9950	0,9950		
	coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,8870	0,8870	0,8870		
	Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0154	0,0154	0,0154		

5	<i>Coronilla valentina glauca</i> (80)			0,9295	0,9663
	MaxEnt	AUC prueba	0,9195	0,9415	0,9305
		AUC entrenamiento	0,9246	0,9449	0,9348
		Precisión global prueba	0,9238	0,9333	0,9286
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,7051	0,7351	0,7201
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9978	0,9978	0,9978
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9899	0,9899	0,9899
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0570	0,0636	0,0603
6	<i>Gladiolus illyricus</i> (72)			0,8631	0,9556
	MaxEnt	AUC prueba	0,8304	0,8182	0,8243
		AUC entrenamiento	0,9219	0,9040	0,9129
		Precisión global prueba	0,9654	0,8382	0,9018
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,1253	0,4006	0,2630
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9967	1,0000	0,9983
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9532	1,0000	0,9766
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0401	0,1689	0,1045
7	<i>Helichrysum stoechas stoechas</i> (91)			0,9391	0,9578
	MaxEnt	AUC prueba	0,8930	0,8997	0,8964
		AUC entrenamiento	0,9146	0,9245	0,9195
		Precisión global prueba	0,9819	0,9819	0,9819
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,1035	0,1035	0,1035
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9955	0,9965	0,9960
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,8573	0,8943	0,8758
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0189	0,0189	0,0189
8	<i>Lavandula stoechas</i> (434)			0,8775	0,9512
	MaxEnt	AUC prueba	0,8618	0,8642	0,8630
		AUC entrenamiento	0,9025	0,9077	0,9051
		Precisión global prueba	0,8933	0,8910	0,8921
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,5968	0,5857	0,5913
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9977	0,9971	0,9974
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9926	0,9908	0,9917
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,1074	0,1133	0,1103

9	<i>Ophrys fusca</i> (106)			0,9568	0,9860
	MaxEnt	AUC prueba	0,9705	0,9586	0,9645
		AUC entrenamiento	0,9728	0,9727	0,9727
		Precisión global prueba	0,9490	0,9490	0,9490
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,7892	0,7892	0,7892
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9984	1,0000	0,9992
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9923	1,0000	0,9961
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0334	0,0380	0,0357
10	<i>Orchis anthropophora</i> (217)			0,9675	0,9819
	MaxEnt	AUC prueba	0,9624	0,9541	0,9583
		AUC entrenamiento	0,9658	0,9633	0,9646
		Precisión global prueba	0,9733	0,9801	0,9767
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,9269	0,9448	0,9358
	RF	Precisión global entrenamiento	1,0000	0,9986	0,9993
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	1,0000	0,9963	0,9981
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0495	0,0493	0,0494
11	<i>Orchis italica</i> (148)			0,9424	0,9852
	MaxEnt	AUC prueba	0,9455	0,9511	0,9483
		AUC entrenamiento	0,9731	0,9700	0,9715
		Precisión global prueba	0,9385	0,9344	0,9365
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,7412	0,7207	0,7309
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9977	1,0000	0,9989
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9890	1,0000	0,9945
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0560	0,0606	0,0583
12	<i>Paeonia broteri</i> (136)			0,9292	0,9769
	MaxEnt	AUC prueba	0,9193	0,9157	0,9175
		AUC entrenamiento	0,9525	0,9596	0,9561
		Precisión global prueba	0,9409	0,9409	0,9409
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,7120	0,7120	0,7120
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9966	0,9989	0,9977
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9838	0,9946	0,9892
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0651	0,0598	0,0624

13	<i>Quercus coccifera</i> (227)			0,8974	0,9667
	MaxEnt	AUC prueba	0,8927	0,8886	0,8906
		AUC entrenamiento	0,9344	0,9334	0,9339
		Precisión global prueba	0,9019	0,9065	0,9042
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,6741	0,6926	0,6833
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9989	1,0000	0,9994
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9963	1,0000	0,9982
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,1154	0,1166	0,1160
14	<i>Salvia rosmarinus</i> (295)			0,9184	0,9670
	MaxEnt	AUC prueba	0,9233	0,8751	0,8992
		AUC entrenamiento	0,9391	0,9388	0,9389
		Precisión global prueba	0,9376	0,9376	0,9376
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,6990	0,6895	0,6942
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9941	0,9962	0,9952
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9707	0,9815	0,9761
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0633	0,0633	0,0633
15	<i>Salvia sclareoides</i> (88)			0,9411	0,9761
	MaxEnt	AUC prueba	0,9255	0,9208	0,9232
		AUC entrenamiento	0,9528	0,9552	0,9540
		Precisión global prueba	0,9627	0,9552	0,9590
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,7944	0,7451	0,7697
	RF	Precisión global entrenamiento	0,9982	0,9982	0,9982
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	0,9915	0,9915	0,9915
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0938	0,0901	0,0919
16	<i>Teucrium fruticans</i> (57)			0,9550	0,9815
	MaxEnt	AUC prueba	0,9321	0,9392	0,9357
		AUC entrenamiento	0,9644	0,9616	0,9630
		Precisión global prueba	0,9744	0,9744	0,9744
		coeficiente Kappa (κ) prueba	0,8746	0,8746	0,8746
	RF	Precisión global entrenamiento	1,0000	1,0000	1,0000
		coeficiente Kappa (κ) entrenamiento	1,0000	1,0000	1,0000
		Estimación Out-of-Bag (OOB)	0,0526	0,0557	0,0542

3.6.6 Análisis Espacial

Se calcula el promedio de los resultados obtenidos de los dos GCMs, CESM2 y MIROC6, para los escenarios *históricos*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5 obteniendo una cuadrícula de consenso para los rangos de distribución de los hábitats actuales y futuros previstos para 16 especies autóctonas de Portugal continental (*A. linkianum*, *C. longifolia*, *C. albidus*, *C. salviifolius*, *C. valentina subsp. glauca*, *G. illyricus*, *H. stoechas subsp. stoechas*, *L. stoechas*, *O. fusca subsp. fusca*, *O. anthropophora*, *O. italica*, *P. broteri*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus*, *S. sclareoides* y *T. fruticans* L.).

Se extraje el valor de idoneidad logística de cada especie para la CH Río Jamor y el PE-PVQ, este último se calcula como el promedio de las celdas de la cuadrícula correspondientes al punto central del PE-PVQ sobre la autopista IC19 y al punto central de la *Matinha de Queluz*. Se calcula el área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores al 0.5 para Portugal continental, la CH Río Jamor y los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora.

La modelización de la distribución de las especies, las estadísticas y las visualizaciones de datos se realizan a través de la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) versión 1.0.0. Además, para las representaciones grafica de los diagramas se utiliza el software Adobe Photoshop 2020 (versión 21.0.0).

Ilustração em Aquarela

Catálogo das Espécies Nativas Portuguesas

Autora: Alejandra M. Orozco Meza

Título Original: 'Ponte Verde de Queluz; Habitat na Lusitânia'

Ophrys lutea (Gouan) Cav.; In *Icon. Descr.* 2: 46 (1793).

Helichrysum stoechas subsp. *stoechas* (L.) Moench; In *Meth.* 575. (1794).

Orchis italica Poir.; In *Lam., Encycl.* 4: 600 [60] (1798).

Salvia sclareoides Brot.; In *Fl. Lusit.* 1. 17 (1804).

Fritillaria lusitanica subsp. *lusitanica* Wikstr.; In *Kungl. Svenska Vetensk.- Acad. Handl.* 1821: 352 (1821).

Paeonia broteri Boiss. & Reut.; In *Diag. Pl. Nov. Hisp.:* 4 (1842).

Cephalanthera longifolia (L.) Fritsch; In *Österr. Bot. Zeitschr.* 38: 81 (1888).

Data Original: Janeiro de 2021; Lisboa, Portugal

Dimensões: 41.9 x 56.10"



A detailed botanical illustration featuring several tall, slender stems with clusters of small, light pink flowers at their tips. Interspersed among these are several large, vibrant pink buds. In the lower right, a cluster of bright yellow flowers with dark, almost black centers is shown. In the lower left, a large, bell-shaped flower with a striking red and white striped pattern is depicted. The background is a soft, textured wash of light green and yellow, suggesting a natural, outdoor setting.

[4.]

DESCRIPCIÓN
DE LA CARTOGRAFÍA
DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS
EN PORTUGAL CONTINENTAL

endémica
arquitectura del paisaje

4.1 Introducción

En esta cuarta sección, se proporciona un análisis exhaustivo de los mapas de distribución de las especies, con una resolución espacial de 750 metros para Portugal continental.

Se visualizan los desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de las especies modeladas para el año 2070, basándose en el escenario *histórico* y en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Cada diagrama incorpora una escala de colores para denotar la idoneidad del hábitat mediante valores de idoneidad logística, que varían de cero a uno, donde cero (0) indica que no son áreas adecuadas y uno (1) indica que son áreas potencialmente adecuadas (véase Figura 44 a 59).

Además, tanto para la distribución actual como para las proyecciones futuras, se identifica el valor de idoneidad logística en la Cuenca Hidrográfica (CH) del Río Jamor y el Proyecto de Ejecución del *Ponte Verde de Queluz* (PE-PVQ) para cada especie estudiada. A su vez, se suministran datos referentes al área total englobada por el rango de distribución, tanto para Portugal continental en su conjunto como para la CH Río Jamor, así como para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora. Estos análisis se fundamentan en un umbral de 0.5, partiendo de la premisa de que el diseño de muestreo se concibió para que las ubicaciones con presencia típica posean este nivel de probabilidad de presencia.

Finalmente, se procede a caracterizar a las especies en función de su posible uso, como especie resiliente al cambio climático en el contexto del Área de Estudio del PE-PVQ. Esto se debe a que el Área de Estudio se enmarca en una de las dos categorías definidas por Araújo *et al.* (2022): (i) una zona considerada como un posible refugio climático de retención, donde las condiciones climáticas son propicias y constantes para el mantenimiento y adaptación de estas especies; y (ii) una zona considerada como un posible refugio climático de desplazamiento, donde las condiciones climáticas experimentan cambios suficientes para permitir la subsistencia y adaptación de las especies a nuevos entornos.

4.1.1 *Antirrhinum linkianum* Boiss. y Reut.

4.1.1.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *A. linkianum*

Se predice el rango actual de distribución de *A. linkianum* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 44). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.70 para la CH Río Jamor y de 0.68 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 1862.36 km² para Portugal continental, 44.20 km² para la CH Río Jamor, y de 290.13 km², 44.78 km² y 23.75 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva y los coeficientes Kappa de los modelos indican que presentan valores altos en las métricas de rendimiento y una concordancia entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9381$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9787$; $\mu_{\text{K prueba}} = 0.8513$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 1$). Mientras que la moderada estimación OOB = 0.1205 sugiere la posibilidad de requerir una mejora en el ajuste del modelo. En conjunto, estos resultados sugieren que estos modelos tienen un ajuste y una capacidad para predecir la distribución actual de *A. linkianum*.

4.1.1.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *A. linkianum*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *A. linkianum* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 44). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.70; 0.71) y en el PE-PVQ (0.72; 0.72) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 2253.05 km² para Portugal continental, 44.18 km² para la CH Río Jamor, y de 296.40 km², 44.78 km² y 23.75 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 1840.53 km² para Portugal continental, 44.20 km² para la CH Río Jamor, y de 284.03 km², 44.78 km² y 23.75 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

μ prueba: 0,9381
 μ entrenamiento : 0,9787
 κ prueba: 0,8513
 OOB: 0,1205

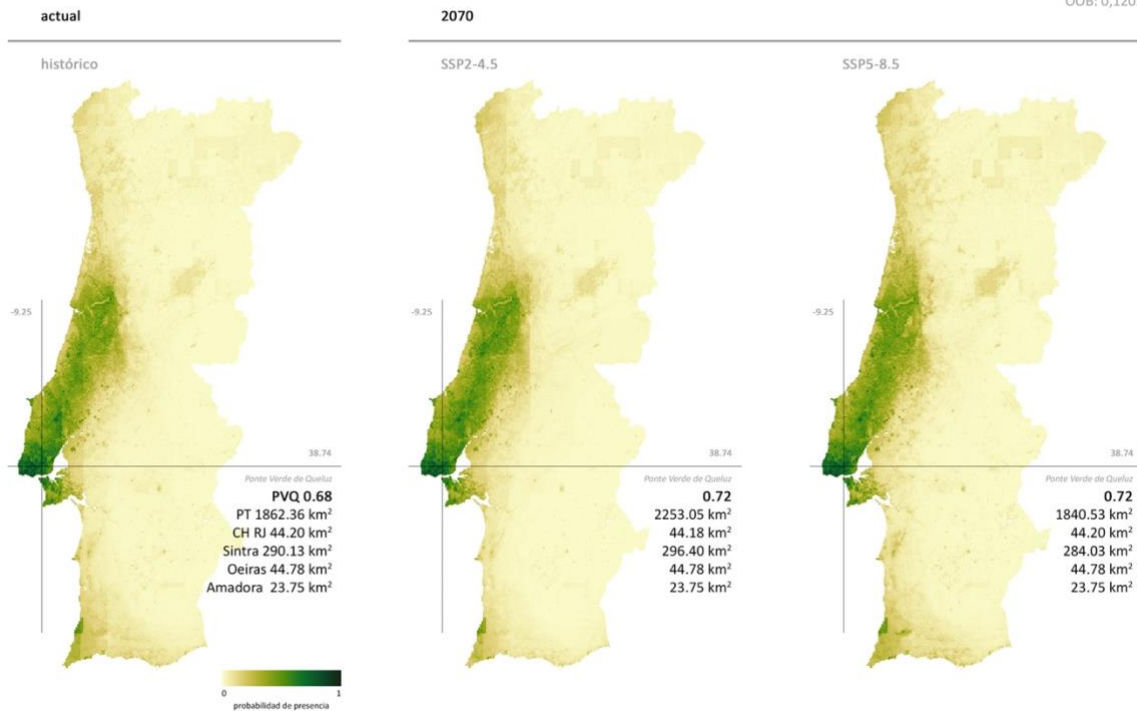


Figura 44. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *A. linkianum* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de seleccionar y utilizar *A. linkianum*, como una especie resiliente a cambio climático, esto debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugio climático de retención, donde las condiciones climáticas son adecuadas y estables para la persistencia y adaptación de esta especie, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan en otras iniciativas en el *concelho* de Sintra bajo ambos escenarios, ya que se produce una expansión del rango de distribución de *A. linkianum*, y en los *concelhos* de Oeiras y Amadora, de igual manera, en ambos escenarios, se mantiene invariable el rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *A. linkianum*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.2 *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch.

4.1.2.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *C. longifolia*

Se predice el rango actual de distribución de *C. longifolia* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 45). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.56 para la CH Río Jamor y de 0.55 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 2136.30 km² para Portugal continental, 34.16 km² para la CH Río Jamor, y de 118.97 km², 27.44 km² y 16.66 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación aceptables en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.8915$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9758$). No obstante, los valores de los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.7540$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 1$) y la estimación OOB = 0.1298 son moderados, lo que indica que la concordancia entre las predicciones y las observaciones reales posee un cierto grado de incertidumbre en cuanto a la consistencia de las predicciones con los datos reales. Esto sugiere la posibilidad de requerir una mejora en el ajuste del modelo. En conjunto, estos resultados indican que estos modelos tienen un ajuste y una capacidad adecuados para predecir la distribución actual de *C. longifolia*.

4.1.2.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *C. longifolia*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *C. longifolia* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 45). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.57; 0.56) y en el PE-PVQ (0.58; 0.57) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 2214.57 km² para Portugal continental, 32.28 km² para la CH Río Jamor, y de 132.15 km², 31.99 km² y 16.59 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 2271.10 km² para Portugal continental, 31.18 km² para la CH Río Jamor, y de 116.19 km², 32.01 km² y 16.76 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

μ prueba: 0,8915
 μ entrenamiento : 0,9758
 κ prueba: 0,7540
 OOB: 0,1298

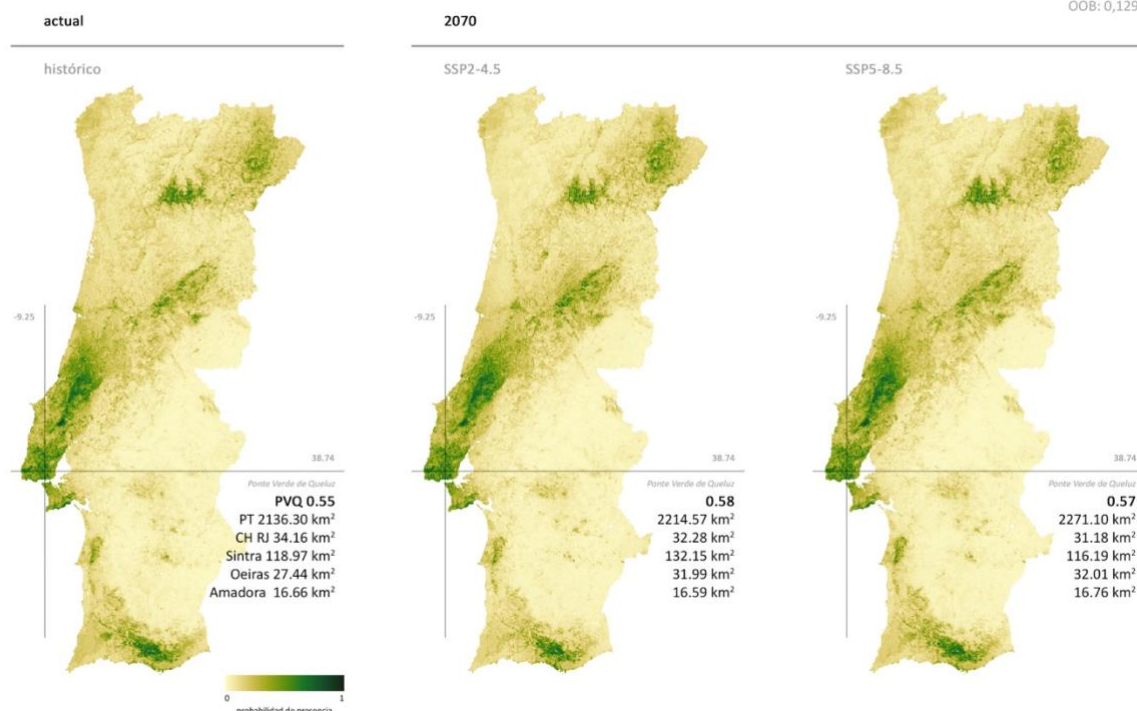


Figura 45. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *C. longifolia* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de seleccionar y utilizar *C. longifolia*, como una especie resiliente a cambio climático, esto debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugio climático de retención, donde las condiciones climáticas son adecuadas y estables para la persistencia y adaptación de esta especie, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos también impactan en otras iniciativas en el *concelho* de Amadora bajo el escenario SSP2-4.5 y en el *concelho* de Sintra bajo el escenario SSP5-8.5, donde se observa una pérdida de rango de distribución. No obstante, en los *concelhos* de Sintra bajo el escenario SSP2-4.5, Amadora bajo el escenario SSP5-8.5 y Oeiras, en ambos escenarios, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como refugios climáticos de retención y desplazamiento para *C. longifolia*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.3 *Cistus albidus* L.

4.1.3.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *C. albidus*

Se predice el rango actual de distribución de *C. albidus* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 46). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.28 para la CH Río Jamor y de 0.36 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 2255.89 km² para Portugal continental, 1.69 km² para la CH Río Jamor, y de 0 km², 2.17 km² y 0.01 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva y los coeficientes Kappa de los modelos indican que presentan valores altos en las métricas de rendimiento y una concordancia entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9393$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9713$; $\mu_{\text{K}_{\text{prueba}}} = 0.8496$; $\mu_{\text{K}_{\text{entrenamiento}}} = 0.9905$). La baja estimación OOB = 0.0831 sugiere que los modelos de RFs tienden a ajustarse bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que estos modelos tienen un buen ajuste y una capacidad adecuados para predecir la distribución actual de *C. albidus*.

4.1.3.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *C. albidus*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución para *C. albidus* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, experimentado una reducción de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP2-4.5 y un aumento de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP5-8.5 (véase Figura 46). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.25; 0.31) y en el PE-PVQ (0.29; 0.36) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 2237.96 km² para Portugal continental, y de 0 km² para la CH Río Jamor y para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 2352.44 km² para Portugal continental, 2.13 km² para la CH Río Jamor, y de 0 km², 2.61 km² y 0.01 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

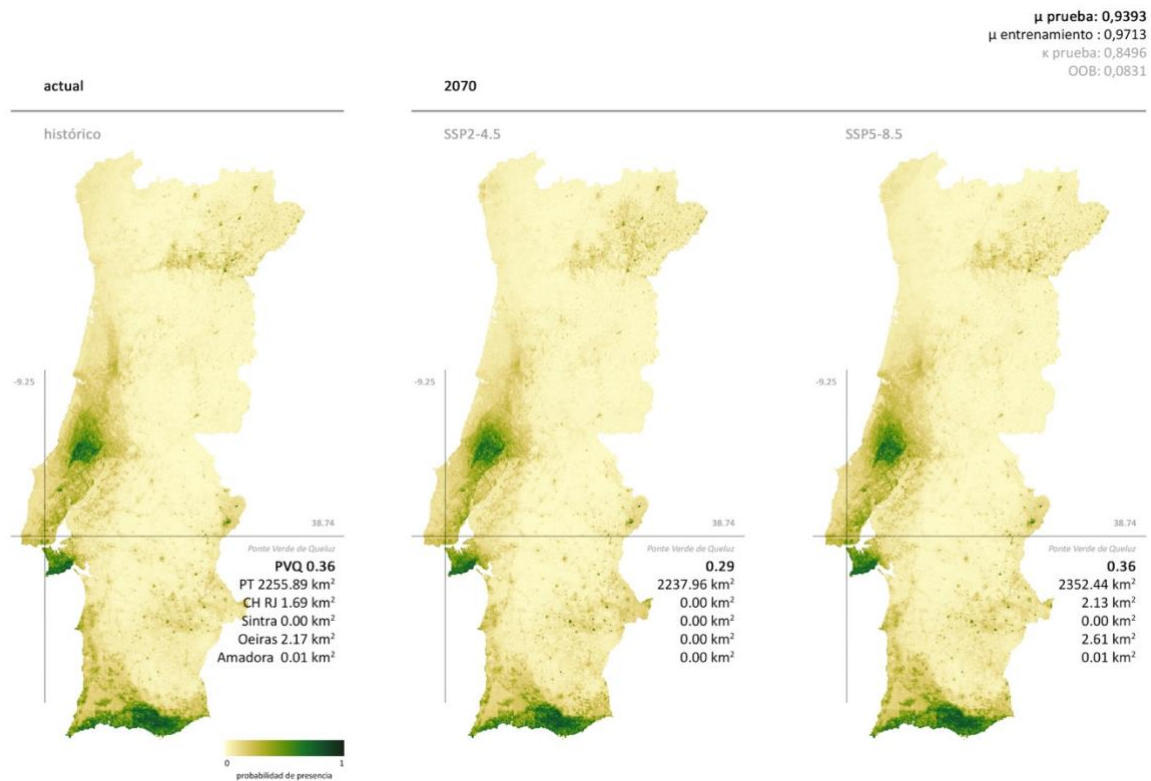


Figura 46. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *C. albidus* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *C. albidus* en el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos también impactan en otras iniciativas en los *concelhos* de Sintra y Amadora, en ambos escenarios, y en Oeiras bajo el escenario SSP2-4.5, donde se observa que no corresponden al rango de distribución futuro. No obstante, en el *concelho* de Oeiras bajo el escenario SSP5-8.5, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *C. albidus*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.4 *Cistus salviifolius* L

4.1.4.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *C. salviifolius*

Se predice el rango actual de distribución de *C. salviifolius* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 47). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.30 para la CH Río Jamor y de 0.24 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 226.64 km² para Portugal continental, 0.84 km² para la CH Río Jamor, y de 1.64 km², 0.96 km² y 0.10 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9449$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9566$). No obstante, los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.6270$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 0.8870$) indican que la concordancia entre las predicciones y las observaciones reales puede ser moderada, lo que implica cierto grado de incertidumbre en cuanto a la consistencia de las predicciones con los datos reales. La muy baja estimación OOB = 0.0154 sugiere que los modelos de RFs tienden a tener un muy buen ajuste a los datos utilizados para el entrenamiento. Por tanto, la alta precisión predictiva en ambos modelos y la moderada concordancia en los modelos RFs sugieren que estos modelos tienen un ajuste y una capacidad adecuados para predecir la distribución actual de *C. salviifolius*.

4.1.4.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *C. salviifolius*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y una reducción de los hábitats adecuados para *C. salviifolius* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 47). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.32; 0.32) y en el PE-PVQ (0.24; 0.26) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 215.30 km² para Portugal continental, 0.84 km² para la CH Río Jamor, y de 3.32 km², 0.96 km² y 0.10 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 211.78 km² para Portugal continental, 0.84 km² para la CH Río Jamor, y de 2.52 km², 0.96 km² y 0.10 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

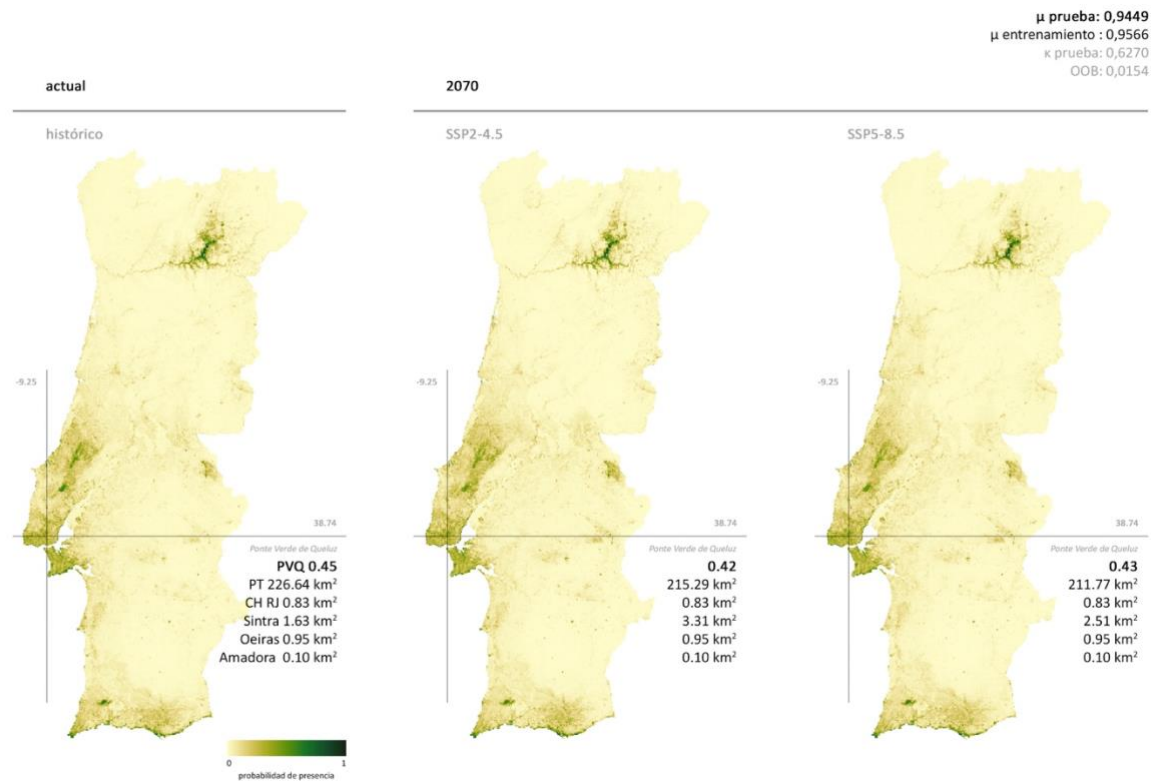


Figura 47. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *C. salviifolius* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *C. salviifolius* en el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos no tienen implicaciones para otras iniciativas dentro de los *concelhos* de Oeiras y Amadora, donde se mantiene el rango de distribución, y de igual manera, para el *concelho* de Sintra, donde se aumenta el rango de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *C. salviifolius*. Este hecho podría ser relevante para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.5 *Coronilla valentina subsp. glauca* (L.) Batt.

4.1.5.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *C. valentina subsp. glauca*

Se predice el rango actual de distribución de *C. valentina subsp. glauca* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 48). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.45 para la CH Río Jamor y de 0.38 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 1782.92 km² para Portugal continental, 14.53 km² para la CH Río Jamor, y de 32.61 km², 25.70 km² y 16.79 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9295$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9663$). No obstante, los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.7201$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 0.9899$) sugieren que la concordancia entre las predicciones y las observaciones reales puede ser moderada en algunos casos. La baja estimación OOB = 0.0603 en el modelo RF indica un buen ajuste a los datos de entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que estos modelos tienen un buen ajuste y una capacidad para predecir la distribución actual de *C. valentina subsp. glauca*.

4.1.5.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *C. valentina subsp. glauca*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y una reducción de los hábitats adecuados para *C. valentina subsp. glauca* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 48). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.47; 0.49) y en el PE-PVQ (0.40; 0.39) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 1671.00 km² para Portugal continental, 18.10 km² para la CH Río Jamor, y de 64.86 km², 32.49 km² y 16.50 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 1734.83 km² para Portugal continental, 18.63 km² para la CH Río Jamor, y de 74.22 km², 32.30 km² y 16.94 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

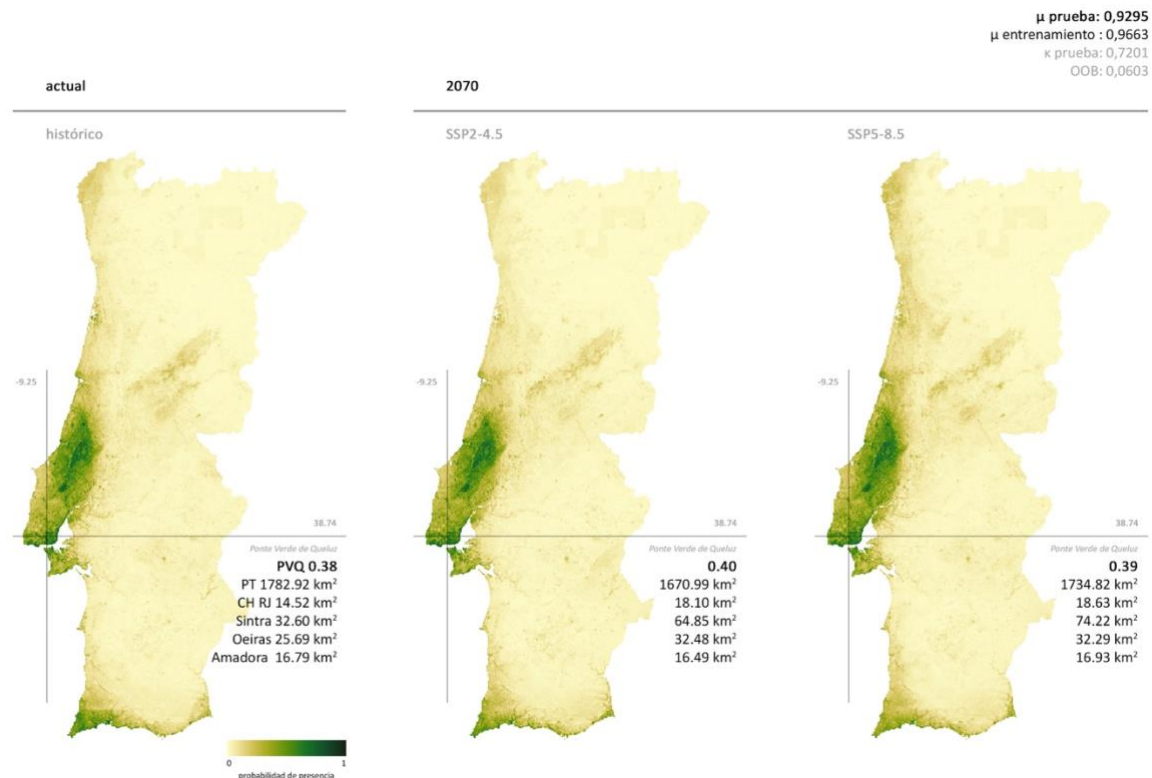


Figura 48. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *C. valentina subsp. glauca* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *C. valentina subsp. glauca* el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos no tienen implicaciones para otras iniciativas dentro de los *concelhos* de Sintra y Oeiras, donde se aumenta el rango de distribución, ni para el *concelho* de Amadora, donde se mantiene su rango de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *C. valentina subsp. glauca*. Este hecho podría ser relevante para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.6 *Gladiolus illyricus* W.D.J.Koch.

4.1.6.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *G. Illyricus*

Se predice el rango actual de distribución de *G. illyricus* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 49). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.45 para la CH Río Jamor y de 0.37 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 1671.41 km² para Portugal continental, 18.32 km² para la CH Río Jamor, y de 48.71 km², 23.26 km² y 18.23 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos presentan valores de evaluación aceptables en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.8631$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9556$). No obstante, los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.2630$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 0.9766$) indican que la concordancia entre las predicciones y las observaciones reales es muy baja, lo que podría requerir un mejor ajuste del modelo. En general, aunque la baja estimación OOB = 0.1045 sugiere una buena capacidad para generar y predecir datos nuevos y no vistos, se debe considerar la necesidad de mejorar la capacidad de predicción para asegurar una interpretación más precisa de la distribución actual de *G. illyricus*.

4.1.6.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *G. Illyricus*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y una reducción de los hábitats adecuados para *G. illyricus* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 49). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.44; 0.45) y en el PE-PVQ (0.37; 0.40) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 1558.74 km² para Portugal continental, 13.58 km² para la CH Río Jamor, y de 45.16 km², 20.62 km² y 14.36 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 1653.99 km² para Portugal continental, 14.61 km² para la CH Río Jamor, y de 55.24 km², 28.41 km² y 16.24 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

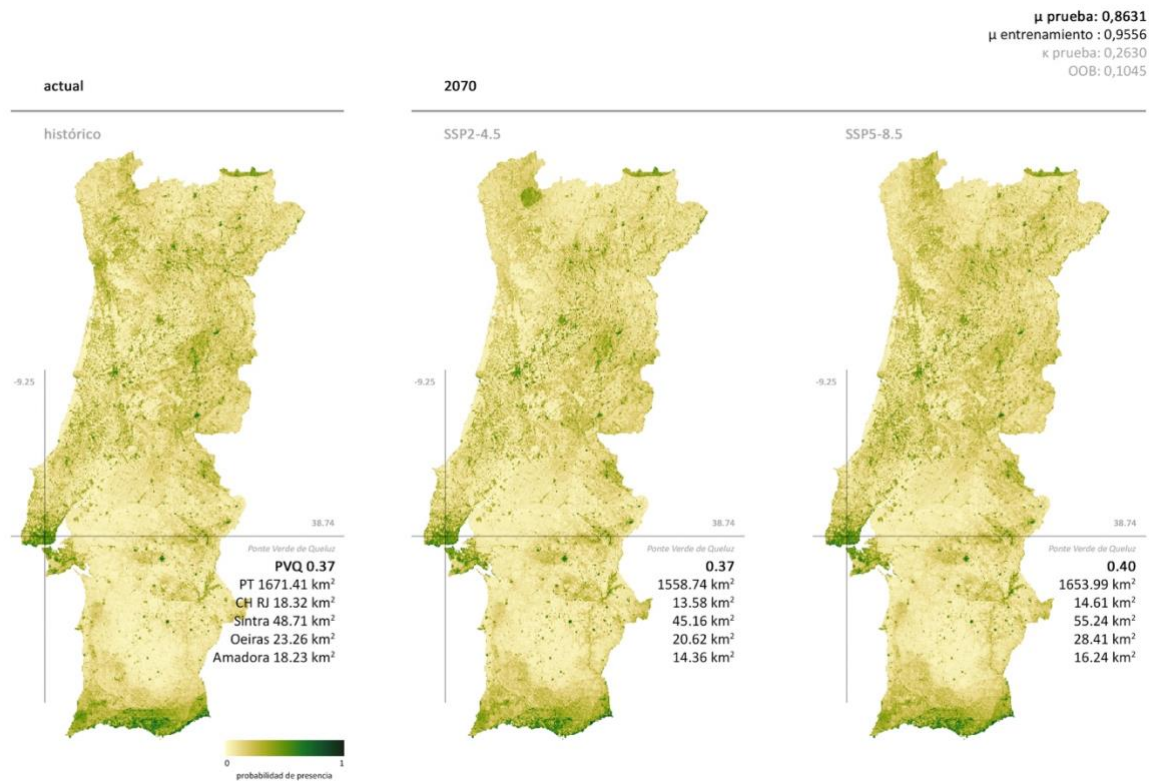


Figura 49. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *G. illyricus* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *G. illyricus* en el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Aunque se debe mejorar la capacidad de predicción para asegurar una interpretación más precisa de la distribución actual de *G. illyricus*, estos valores de idoneidad logística pronosticados se encuentran lejos de alcanzar el valor 0.5, en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

4.1.7 *Helichrysum stoechas subsp. stoechas* (L.) Moench.

4.1.7.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *H. stoechas subsp. stoechas*

Se predice el rango actual de distribución de *H. stoechas subsp. stoechas* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 50). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.24 para la CH Río Jamor y de 0.17 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 364.46 km² para Portugal continental, 0.82 km² para la CH Río Jamor, y de 0.32 km², 1.20 km² y 4.64 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9391$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9578$). No obstante, los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.1035$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 0.8758$) indican que la concordancia entre las predicciones y las observaciones reales es muy baja, lo que sugiere la posibilidad de requerir un ajuste mejorado del modelo. En general, aunque la muy baja estimación OOB = 0.0189 sugiere que los modelos de RFs tienden a adaptarse muy bien a los datos utilizados para el entrenamiento, es importante considerar la necesidad de mejorar la capacidad de predicción para asegurar una interpretación más precisa de la distribución actual de *H. stoechas subsp. stoechas*.

4.1.7.2. Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *H. stoechas subsp. stoechas*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución para *H. stoechas subsp. stoechas* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, experimentado una reducción de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP2-4.5 y un aumento de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP5-8.5 (véase Figura 50). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.26; 0.28) y en el PE-PVQ (0.19; 0.20) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 360.53 km² para Portugal continental, 1.22 km² para la CH Río Jamor, y de 1.20 km², 0.76 km² y 5.02 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 371.56 km² para Portugal continental, 1.22 km² para la CH Río Jamor, y de 1.67 km², 2.05 km² y 5.94 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

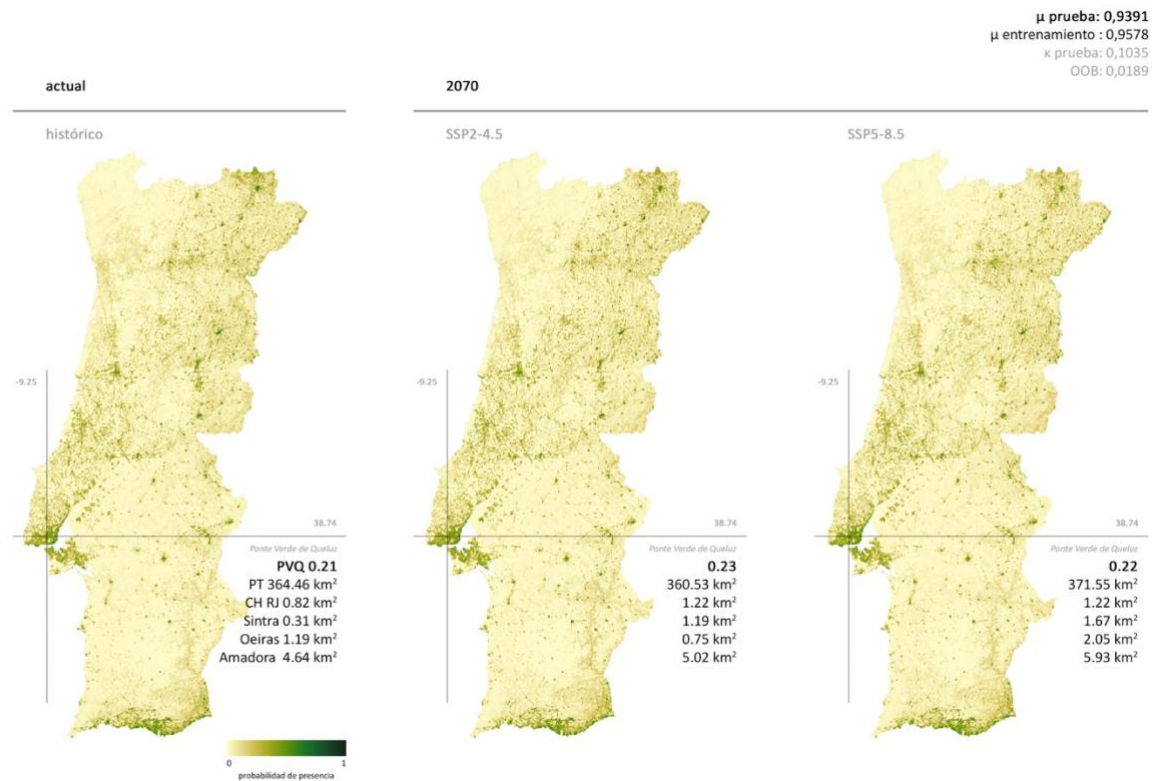


Figura 50. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *H. stoechas subsp. stoechas* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *H. stoechas subsp. stoechas* en el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Aunque se debe mejorar la capacidad de predicción para asegurar una interpretación más precisa de la distribución actual de *H. stoechas subsp. stoechas*, estos valores de idoneidad logística pronosticados se encuentran lejos de alcanzar el valor 0.5, en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

4.1.8 *Lavandula stoechas* L.

4.7.8.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *L. stoechas*

Se predice el rango actual de distribución de *L. stoechas* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 51). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.38 para la CH Río Jamor y de 0.35 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 2382.34 km² para Portugal continental, 8.49 km² para la CH Río Jamor, y de 23.59 km², 20.20 km² y 2.77 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos indican que estos presentan valores aceptables en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.8775$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9512$). No obstante, los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.5913$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 0.9917$) señalan una concordancia baja entre las predicciones y las observaciones reales, mientras que la moderada estimación OOB = 0.1103 sugiere la posibilidad de requerir una mejora en el ajuste del modelo. Por tanto, es esencial considerar la necesidad de mejorar la capacidad de predicción para asegurar una interpretación más precisa de la distribución actual de *L. stoechas*.

4.1.8.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *L. stoechas*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *L. stoechas* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 51). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.38; 0.41) y en el PE-PVQ (0.38; 0.41) no experimentarán cambios en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 2645.74 km² para Portugal continental, 7.61 km² para la CH Río Jamor, y de 18.21 km², 19.17 km² y 1.68 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 2568 km² para Portugal continental, 11.37 km² para la CH Río Jamor, y de 39.18 km², 24.32 km² y 2.44 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

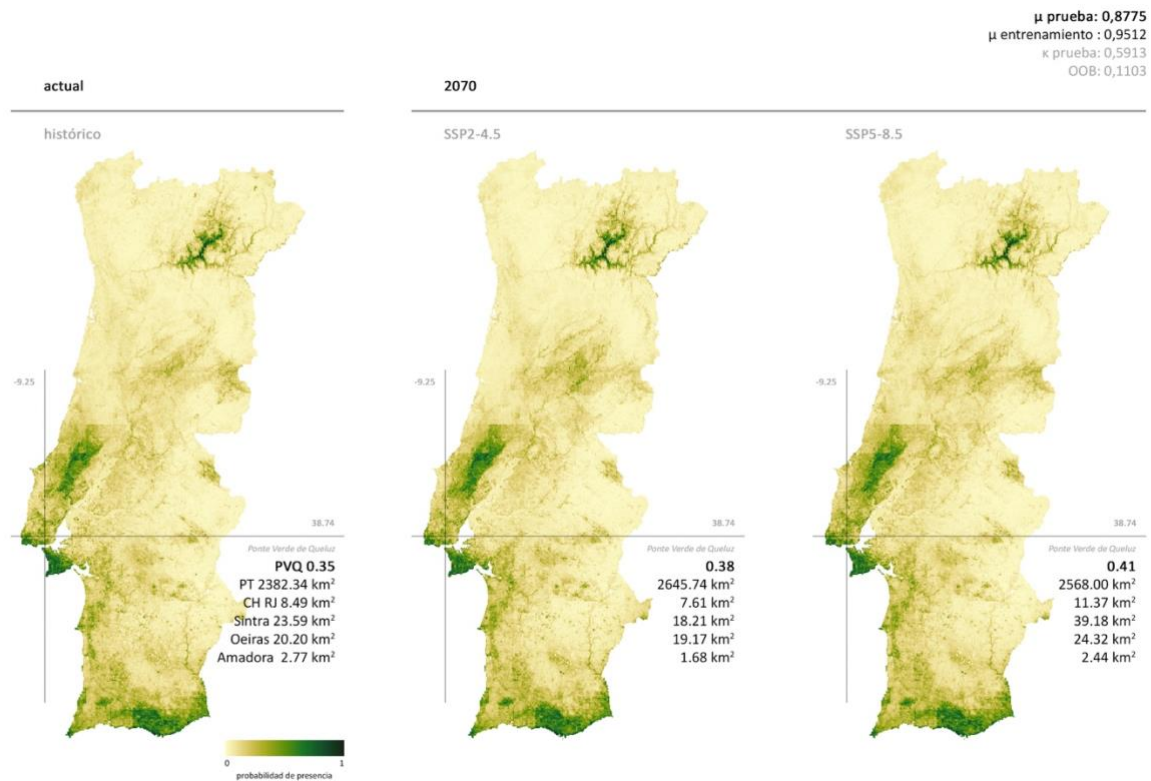


Figura 51. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *L. stoechas* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *L. stoechas* en el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Aunque se debe mejorar la capacidad de predicción para asegurar una interpretación más precisa de la distribución actual de *L. stoechas*, estos valores de idoneidad logística pronosticados se encuentran lejos de alcanzar el valor 0.5, en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

4.1.9 *Ophrys fusca* Link.

4.1.9.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *O. fusca*

Se predice el rango actual de distribución de *O. fusca* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 52). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.43 para la CH Río Jamor y de 0.40 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 1112.08 km² para Portugal continental, 8.45 km² para la CH Río Jamor, y de 36.85 km², 11.47 km² y 2.73 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación razonablemente altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9568$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9860$). La concordancia moderada entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\kappa_{\text{prueba}}} = 0.7892$; $\mu_{\kappa_{\text{entrenamiento}}} = 0.9961$) y la muy baja estimación OOB = 0.0357 sugiere que los modelos de RFs tienden a ajustarse muy bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *O. fusca*.

4.1.9.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *O. fusca*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y una reducción de los hábitats adecuados para *O. fusca* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 52). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.45; 0.46) y en el PE-PVQ (0.49; 0.44) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 1062.40 km² para Portugal continental, 11.54 km² para la CH Río Jamor, y de 39.99 km², 9.89 km² y 5.36 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 1088.19 km² para Portugal continental, 14.58 km² para la CH Río Jamor, y de 53.33 km², 6.15 km² y 8.53 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

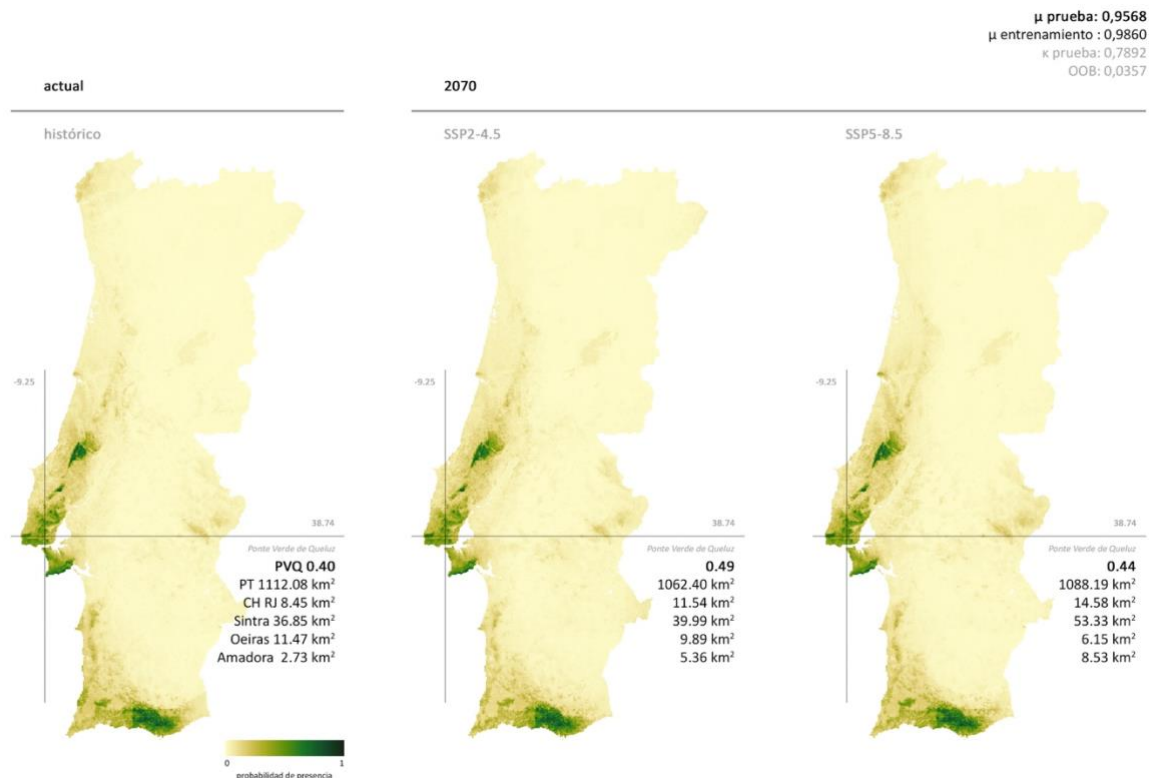


Figura 52. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *O. fusca* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de no seleccionar ni utilizar *O. fusca* en el PE-PVQ. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ indican que no corresponden al rango de distribución actual y futuro, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan otras iniciativas en las regiones de Oeiras bajo ambos escenarios donde se observa una pérdida de rango de distribución. Estos hallazgos no tienen implicaciones para otras iniciativas dentro de los *concelhos* de Sintra, y Amadora, donde se aumenta el rango de distribución. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *O. fusca*. Este hecho podría ser relevante para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.10 *Orchis anthropophora* (L.) All.

4.1.10.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *O. anthropophora*

Se predice el rango actual de distribución de *O. anthropophora* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 53). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.45 para la CH Río Jamor y de 0.42 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 826.09 km² para Portugal continental, 12.13 km² para la CH Río Jamor, y de 28.05 km², 9.34 km² y 5.81 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva y los coeficientes Kappa de los modelos indican que presentan valores razonablemente altos en las métricas de rendimiento y una concordancia sustancial entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9675$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9819$; $\mu_{\text{K}_{\text{prueba}}} = 0.9358$; $\mu_{\text{K}_{\text{entrenamiento}}} = 0.9981$). La muy baja estimación OOB = 0.0494 sugiere que los modelos de RFs tienden a ajustarse muy bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *O. anthropophora*.

4.1.10.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *O. anthropophora*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución para *O. anthropophora* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, experimentando una reducción de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP2-4.5 y un aumento de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP5-8.5 (véase Figura 53). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.43; 0.46) y en el PE-PVQ (0.46; 0.42) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 797.83 km² para Portugal continental, 7.79 km² para la CH Río Jamor, y de 27.05 km², 6.83 km² y 6.29 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 986.70 km² para Portugal continental, 14.89 km² para la CH Río Jamor, y de 45.59 km², 9.44 km² y 7.25 km² para los *concelhos* de Sintra, Amadora y Oeiras, respectivamente.

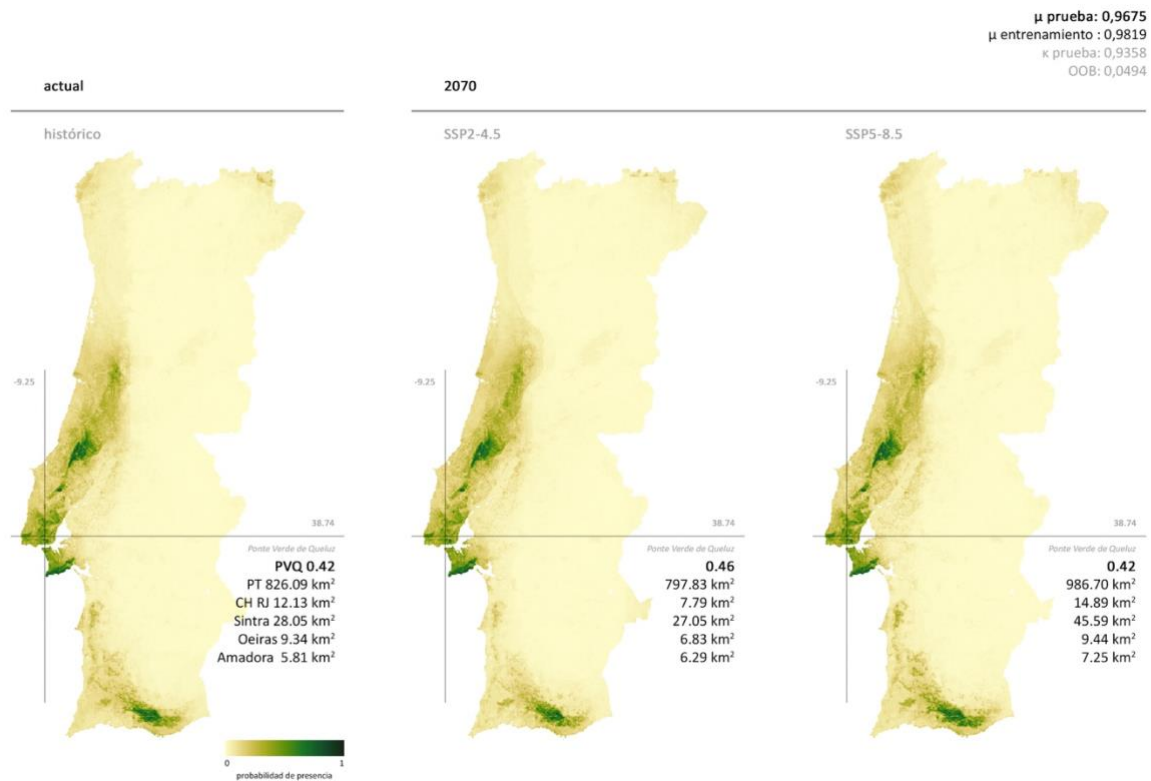


Figura 53. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *O. anthropophora* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados subrayan la importancia de abstenerse de seleccionar o utilizar *O. anthropophora* en el PE-PVQ. Esto se origina en los valores proyectados de idoneidad logística en las zonas de CH Río Jamor y PE-PVQ, los cuales no se alinean con el rango actual ni futuro de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan otras iniciativas en las regiones de Sintra y Oeiras bajo el escenario SSP2-4.5, donde se observa una pérdida de rango de distribución. No obstante, en el *concelho* de Amadora y para ambos escenarios, así como en los *concelhos* de Sintra y Oeiras bajo el escenario SSP5-8.5, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *O. anthropophora*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la supervivencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.11 *Orchis italica* Poir.

4.1.11.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *O. italica*

Se predice el rango actual de distribución de *O. italica* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 54). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.42 para la CH Río Jamor y de 0.41 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 1313.23 km² para Portugal continental, 11.67 km² para la CH Río Jamor, y de 22.46 km², 1.68 km² y 5.44 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9424$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9852$). La concordancia moderada entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\text{K prueba}} = 0.7309$; $\mu_{\text{K entrenamiento}} = 0.9945$) y la baja estimación OOB = 0.0583 indican que los modelos de RFs tienden a ajustarse bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *O. italica*.

4.1.11.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *O. italica*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución para *O. italica* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, experimentado una reducción de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP2-4.5 y un aumento de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP5-8.5 (véase Figura 54). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.39; 0.43) y en el PE-PVQ (0.43; 0.41) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 1310.96 km² para Portugal continental, 4.57 km² para la CH Río Jamor, y de 12.25 km², 1.71 km² y 4.51 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 1422.47 km² para Portugal continental, 13.19 km² para la CH Río Jamor, y de 37.14 km², 1.24 km² y 5.44 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

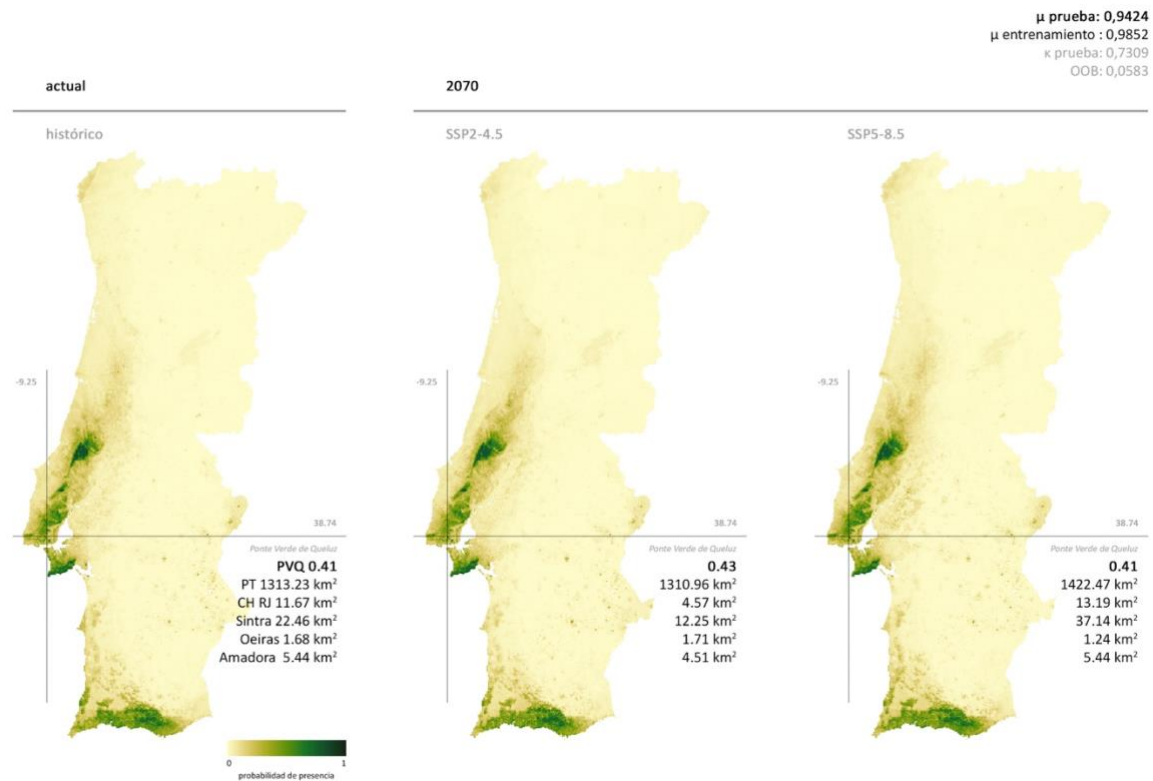


Figura 54. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *O. italica* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023)

Los resultados subrayan la importancia de abstenerse de seleccionar o utilizar *O. italica* en el PE-PVQ. Esto se origina en los valores proyectados de idoneidad logística en las zonas de CH Río Jamor y PE-PVQ, los cuales no se alinean con el rango actual ni futuro de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan otras iniciativas en los *concelhos* de Sintra y Amadora bajo el escenario SSP2-4.5 y en el *concelho* de Oeiras bajo el escenario SSP5-8.5, donde se observa una pérdida de rango de distribución, manteniéndose igual en Amadora bajo el escenario SSP5-8.5. No obstante, en el *concelho* de Oeiras bajo el escenario SSP2-4.5 y en el *concelho* de Sintra bajo el escenario SSP5-8.5, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *O. italica*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.12 *Paeonia broteri* Boiss. y Reut.

4.1.12.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *P. broteri*

Se predice el rango actual de distribución de *P. broteri* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 55). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.28 para la CH Río Jamor y de 0.40 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 594.44 km² para Portugal continental, 1.25 km² para la CH Río Jamor, y de 17.33 km², 0.44 km² y 0.87 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9292$ y $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9769$). La concordancia moderada entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\text{K}_{\text{prueba}}} = 0.7120$; $\mu_{\text{K}_{\text{entrenamiento}}} = 0.9892$) y la baja estimación OOB = 0.0624 indican que los modelos de RFs tienden a ajustarse bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *P. broteri*.

4.1.12.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *P. broteri*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *P. broteri* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 55). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.30; 0.29) y en el PE-PVQ (0.37; 0.35) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 670.74 km² para Portugal continental, 2.10 km² para la CH Río Jamor, y de 23.03 km², 0.44 km² y 3.58 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 712.53 km² para Portugal continental, 2.84 km² para la CH Río Jamor, y de 22.87 km², 0.44 km² y 3.58 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

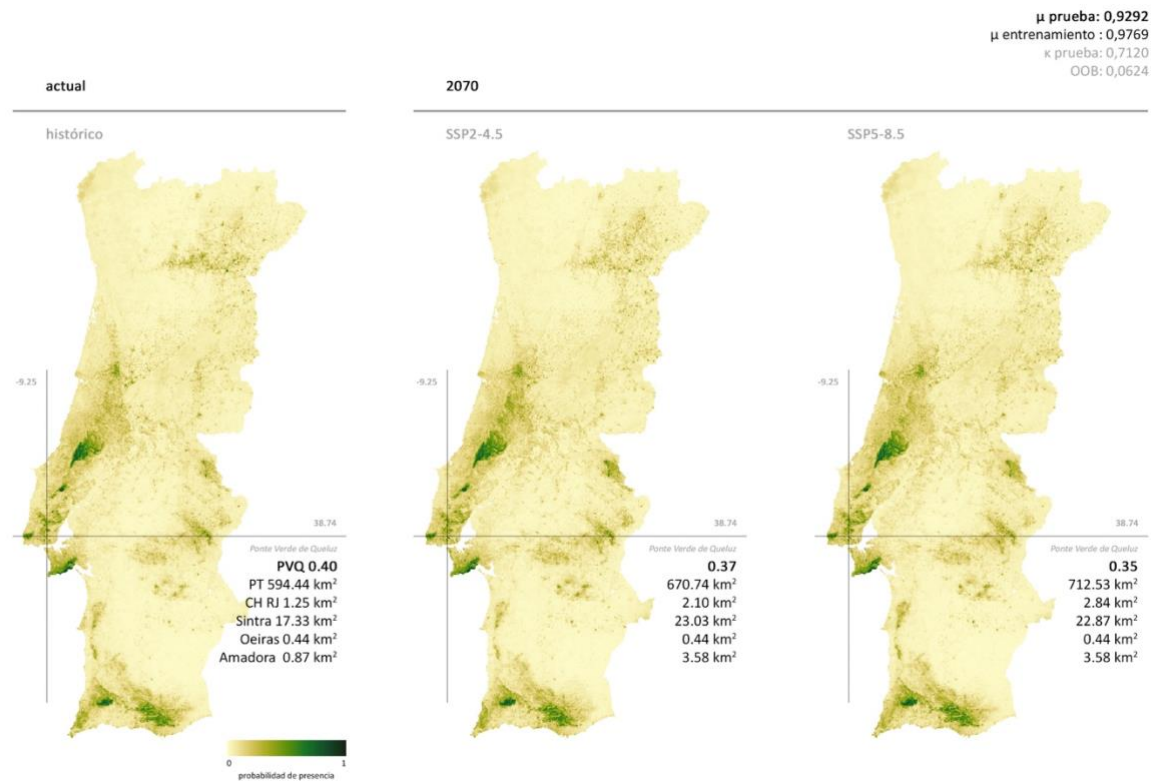


Figura 55. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *P. broteri* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados subrayan la importancia de abstenerse de seleccionar o utilizar *P. broteri* en el PE-PVQ. Esto se origina en los valores proyectados de idoneidad logística en las zonas de CH Río Jamor y PE-PVQ, los cuales no se alinean con el rango actual ni futuro de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos no tienen implicaciones para otras iniciativas dentro de los *concelhos* de Sintra y Amadora, donde se aumenta el rango de distribución, ni para el *concelho* de Oeiras, donde se mantiene su rango de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *P. broteri*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la supervivencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.13 *Quercus coccifera* L.

4.1.13.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *Q. coccifera*

Se predice el rango actual de distribución de *Q. coccifera* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 56). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.54 para la CH Río Jamor y de 0.59 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 2819.92 km² para Portugal continental, 26.85 km² para la CH Río Jamor, y de 118.20 km², 30.18 km² y 15.36 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación aceptables en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.8974$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9667$). No obstante, los valores de los coeficientes Kappa ($\mu_{\text{K}_{\text{prueba}}} = 0.6833$; $\mu_{\text{K}_{\text{entrenamiento}}} = 0.9982$) y la estimación OOB = 0.1160 son moderados, lo que indica que la concordancia entre las predicciones y las observaciones reales posee un cierto grado de incertidumbre en cuanto a la consistencia de las predicciones con los datos reales. Esto sugiere la posibilidad de requerir una mejora en el ajuste del modelo. En conjunto, estos resultados indican que estos modelos tienen un ajuste y una capacidad adecuados para predecir la distribución actual de *Q. coccifera*.

4.1.13.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *Q. coccifera*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *Q. coccifera* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 56). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.54; 0.54) y en el PE-PVQ (0.58; 0.60) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 2874.37 km² para Portugal continental, 26.50 km² para la CH Río Jamor, y de 118.81 km², 32.47 km² y 14.78 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 2881.70 km² para Portugal continental, 27.52 km² para la CH Río Jamor, y de 131.12 km², 38.82 km² y 14.66 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

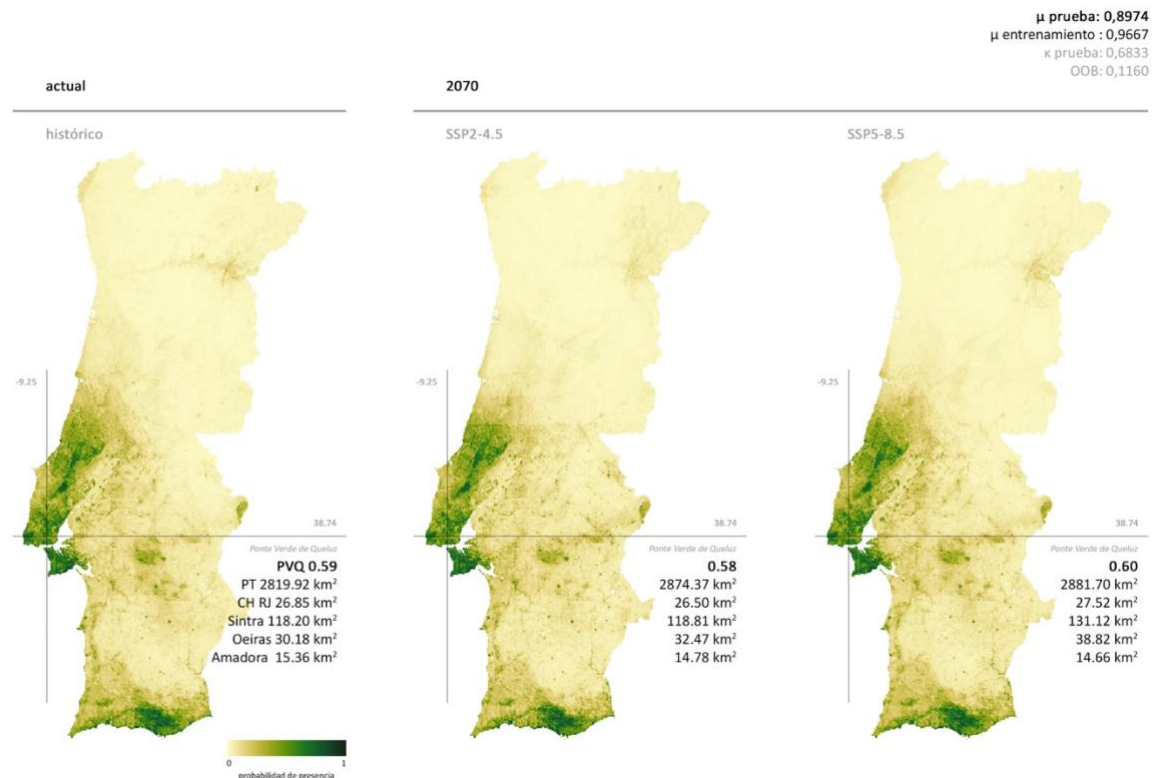


Figura 56. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *Q. coccifera* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de seleccionar y utilizar *Q. coccifera*, como una especie resiliente a cambio climático, esto debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugio climático de retención, donde las condiciones climáticas son adecuadas y estables para la persistencia y adaptación de esta especie, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan en abstenerse de seleccionar o utilizar *Q. coccifera* para otras iniciativas en el *concelho* de Amadora, donde se observa una pérdida de rango de distribución en ambos escenarios climáticos. No obstante, en los *concelhos* de Sintra y Oeiras, en ambos escenarios, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *Q. coccifera*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.14 *Salvia rosmarinus* Spenn.

4.1.14.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *S. rosmarinus*

Se predice el rango actual de distribución de *S. rosmarinus* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 57). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.58 para la CH Río Jamor y de 0.45 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 1284.25 km² para Portugal continental, 25.51 km² para la CH Río Jamor, y de 61.25 km², 23.63 km² y 21.16 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9184$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9670$). La concordancia moderada entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\kappa_{\text{prueba}}} = 0.6942$; $\mu_{\kappa_{\text{entrenamiento}}} = 0.9761$) y la baja estimación OOB = 0.0633 indican que los modelos de RFs tienden a ajustarse bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *S. rosmarinus*.

4.1.14.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *S. rosmarinus*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *S. rosmarinus* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 57). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.60; 0.62) y en el PE-PVQ (0.50; 0.53) experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 1519.75 km² para Portugal continental, 28.67 km² para la CH Río Jamor, y de 66.02 km², 26.33 km² y 22.34 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 1427.81 km² para Portugal continental, 33.82 km² para la CH Río Jamor, y de 81.34 km², 28.34 km² y 22.84 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

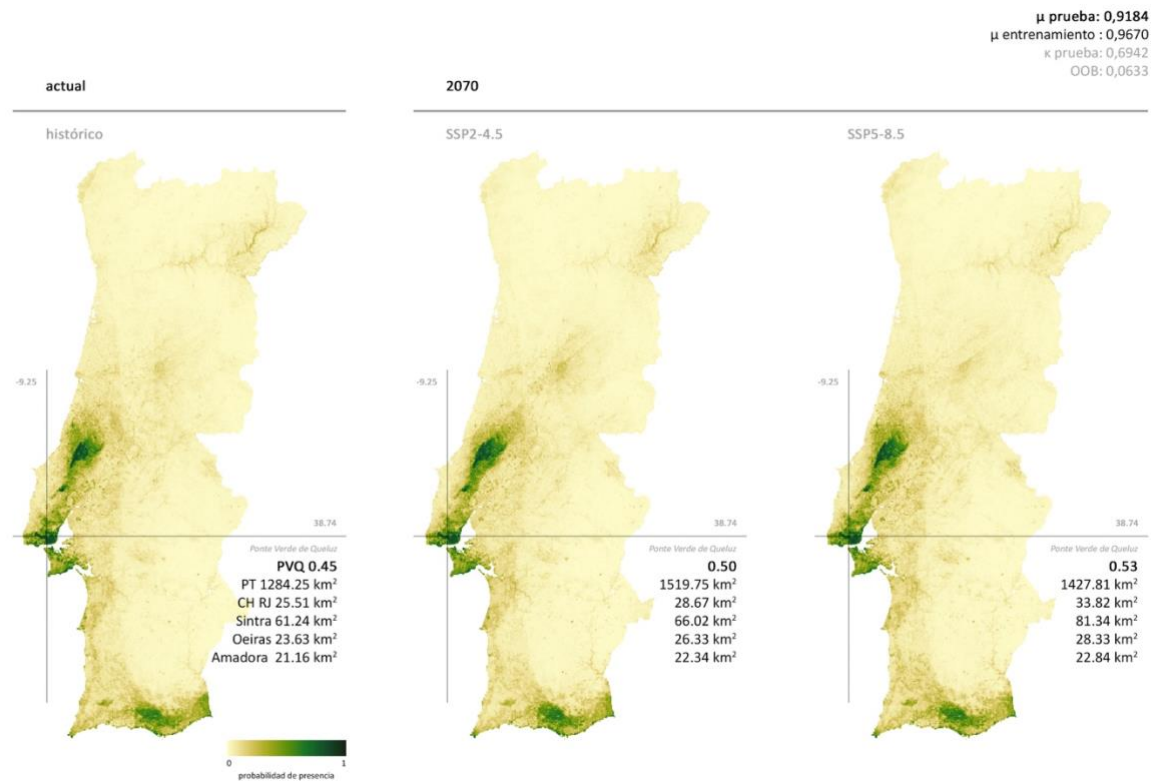


Figura 57. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *S. rosmarinus* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de seleccionar y utilizar *S. rosmarinus*, esto debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugios climáticos de desplazamiento, donde las condiciones climáticas cambian lo suficiente, permitiendo su persistencia y adaptación, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos tienen un impacto en otras iniciativas en los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, donde se observa una expansión del rango de distribución de esta especie, independientemente de los escenarios climáticos. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *S. rosmarinus*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.15 *Salvia sclareoides* Brot.

4.1.15.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *S. sclareoides*

Se predice el rango actual de distribución de *S. sclareoides* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 58). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.49 para la CH Río Jamor y de 0.41 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 2065.41 km² para Portugal continental, 15.80 km² para la CH Río Jamor, y de 172.56 km², 38.63 km² y 11.07 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva de los modelos sugieren que estos modelos presentan valores de evaluación altos en las métricas de rendimiento ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9411$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9761$). La concordancia moderada entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\kappa_{\text{prueba}}} = 0.7697$; $\mu_{\kappa_{\text{entrenamiento}}} = 0.9915$) y la baja estimación OOB = 0.0919 indican que los modelos de RFs tienden a ajustarse bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *S. sclareoides*.

4.1.15.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *S. sclareoides*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución y un aumento de los hábitats adecuados para *S. sclareoides* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (véase Figura 58). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.56; 0.50) y en el PE-PVQ (0.56; 0.47) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 2324.28 km² para Portugal continental, 36.73 km² para la CH Río Jamor, y de 144.94 km², 43.83 km² y 21.52 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 2185.89 km² para Portugal continental, 20.74 km² para la CH Río Jamor, y de 129.71 km², 42.48 km² y 14.33 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

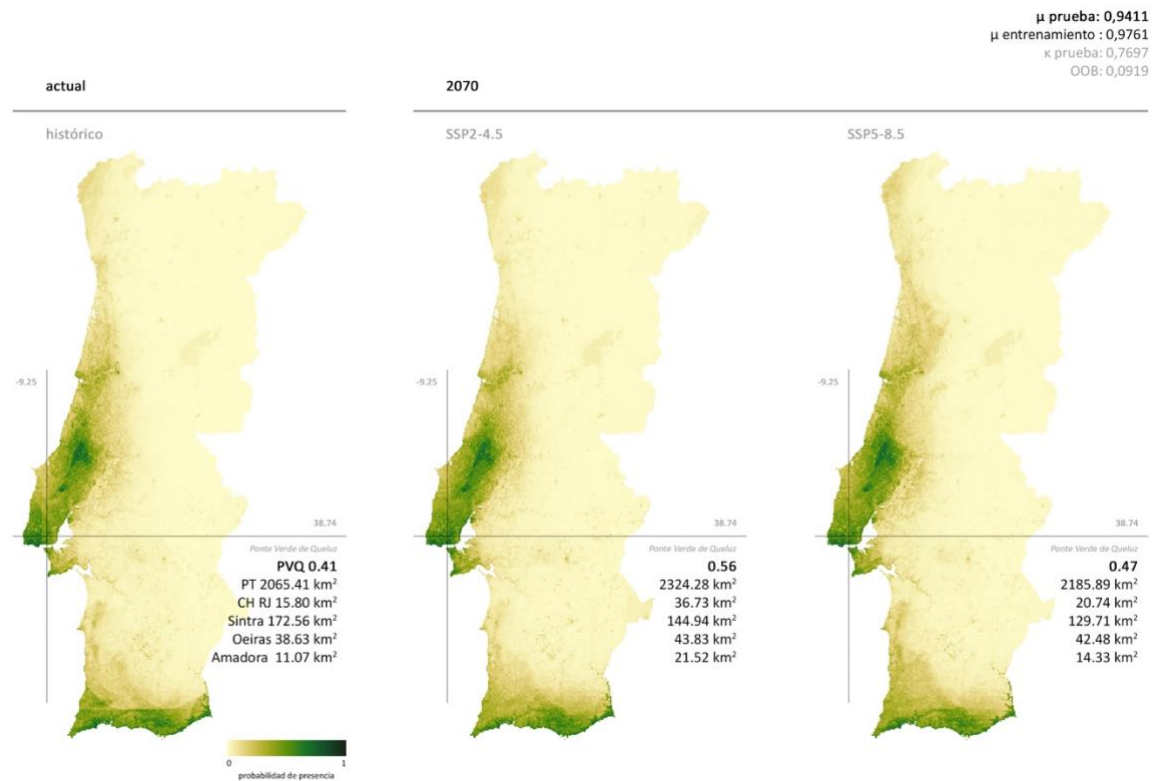


Figura 58. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *S. sclareoides* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados resaltan la importancia de seleccionar y utilizar *S. sclareoides*, esto debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugios climáticos de desplazamiento, donde las condiciones climáticas cambian lo suficiente, permitiendo su persistencia y adaptación, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan en abstenerse de seleccionar o utilizar *S. sclareoides* para otras iniciativas en el *concelho* de Sintra, donde se observa una pérdida de rango de distribución en ambos escenarios climáticos. No obstante, en los *concelhos* de Oeiras y Amadora, en ambos escenarios, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *S. sclareoides*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.

4.1.16 *Teucrium fruticans* L.

4.1.16.1 Rangos actuales del hábitat de distribución para *T. fruticans*

Se predice el rango actual de distribución de *T. fruticans* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el escenario *histórico* del CMIP6 (véase Figura 59). El modelo identifica un valor de idoneidad logística de 0.42 para la CH Río Jamor y de 0.28 para el PE-PVQ. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 es de 562.76 km² para Portugal continental, 11.80 km² para la CH Río Jamor, y de 13.81 km², 15.97 km² y 15.99 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

Los puntajes de precisión predictiva y los coeficientes Kappa de los modelos indican que presentan valores razonablemente altos en las métricas de rendimiento y una concordancia sustancial entre las predicciones y las observaciones reales ($\mu_{\text{prueba}} = 0.9550$; $\mu_{\text{entrenamiento}} = 0.9815$; $\mu_{\kappa \text{ prueba}} = 0.8746$; $\mu_{\kappa \text{ entrenamiento}} = 1$). La muy baja estimación 0.0542 sugiere que los modelos de RFs tienden a ajustarse muy bien a los datos utilizados para el entrenamiento. En conjunto, estos resultados sugieren que los modelos son capaces de predecir con precisión la distribución actual de *T. fruticans*.

4.1.16.2 Rangos de los hábitats de distribución en 2070, bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para *T. fruticans*

Los modelos proyectan un cambio en el rango de distribución para *T. fruticans* en Portugal continental a una resolución espacial de 750 metros para el año 2070, experimentado un aumento de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP2-4.5 y una reducción de los hábitats adecuados bajo el escenario SSP5-8.5 (véase Figura 59). Se pronostica que los valores de idoneidad logística de la especie en la CH Río Jamor (0.41; 0.40) y en el PE-PVQ (0.25; 0.26) no experimentarán cambios significativos en SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP2-4.5 es de 569.40 km² para Portugal continental, 11.28 km² para la CH Río Jamor, y de 26.48 km², 18.16 km² y 13.80 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente. El área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores a 0.5 en SSP5-8.5 es de 561.95 km² para Portugal continental, 11.50 km² para la CH Río Jamor, y de 25.74 km², 18.00 km² y 15.24 km² para los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, respectivamente.

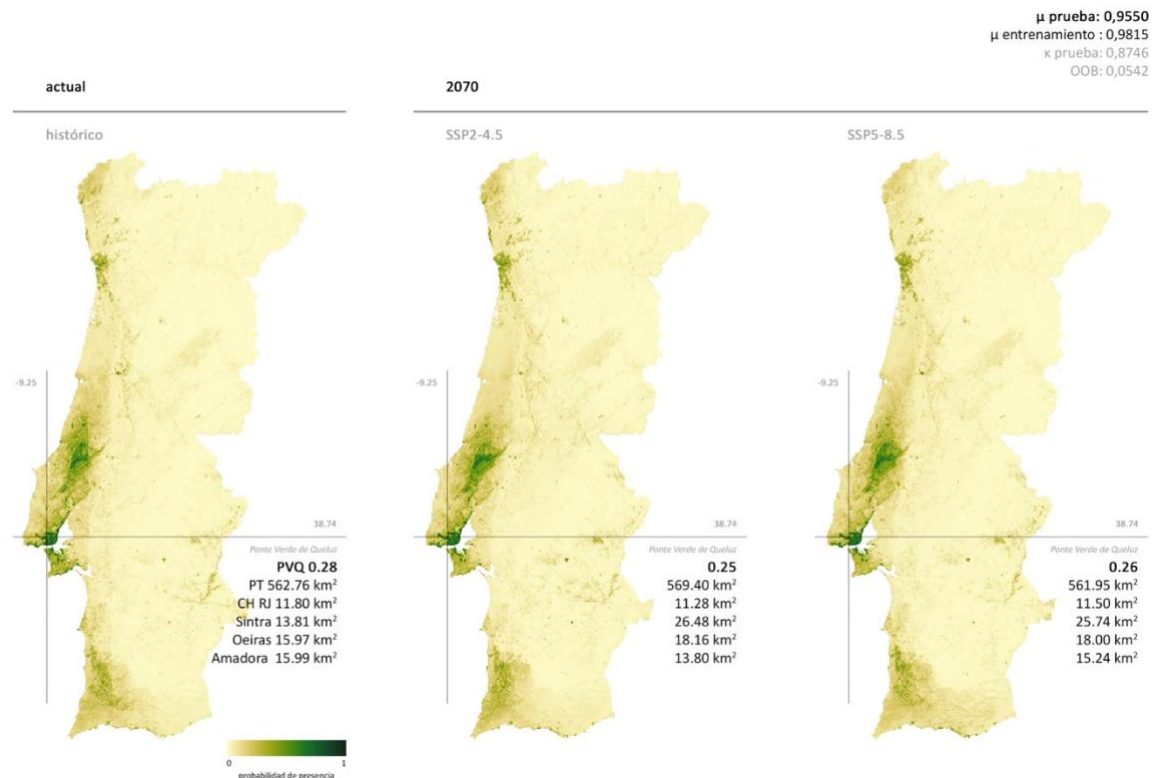


Figura 59. Desplazamientos previstos en el rango actual de distribución de los hábitats de *T. fruticans* en el año 2070, basados en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Elaboración propia, 2023).

Los resultados subrayan la importancia de abstenerse de seleccionar o utilizar *T. fruticans* en el PE-PVQ. Esto se origina en los valores proyectados de idoneidad logística en las zonas de CH Río Jamor y PE-PVQ, los cuales no se alinean con el rango actual ni futuro de distribución, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Estos hallazgos impactan en abstenerse de seleccionar o utilizar *T. fruticans* para otras iniciativas en el *concelho* de Amadora, donde se observa una pérdida de rango de distribución en ambos escenarios climáticos. No obstante, en los *concelhos* de Sintra y Oeiras, en ambos escenarios, se produce una expansión del rango de distribución de esta especie. En estas áreas, se prevé una idoneidad de hábitat mayor a 0.5, lo que permite identificarlas como posibles refugios climáticos de retención y desplazamiento para *T. fruticans*. Este aspecto podría tener implicaciones significativas para la persistencia de la especie en un contexto de cambio climático.



Illustrazione ad Acquerello

Catalogo delle Specie Native Portoghesi

Autrice: Alejandra M. Orozco Meza

Titolo Originale: 'Cistus albidus L.; Habitat na Lusitânia'

Data Originale: Marzo 2021; Lisbona, Portogallo

Data Corretta: Novembre 2023; Milano, Italia

Note di correzione basate sui disegni del pittore rinascimentale italiano

Giovanni Battista Moroni, nella Sala di Lettura della Biblioteca Ambrosiana

Dimensioni: 41,9 x 56,10"



[5.]

RESULTADOS,
DISCUSIÓN,
REPLICABILIDAD Y
CONCLUSIONES

endémica
arquitectura del paisaje

5.1 Resultados

La lista de 17 especies vegetales autóctonas de Portugal continental propuestas en el contexto del PE-PVQ se ve afectada debido a la exclusión de *F. lusitanica subsp. lusitanica Wikstr.* Esta especie cuenta únicamente con ocho registros de presencia, lo cual resulta insuficiente para llevar a cabo un modelado efectivo, como lo ha señalado Zhu (2023). En consecuencia, esta lista de 17 especies propuestas se reduce a una lista de 16 especies modeladas que son objeto de análisis en esta investigación.

Los resultados de los valores de idoneidad logística para la CH Río Jamor y el PE-PVQ, así como el área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística son mayores a 0.5 para Portugal continental, la CH Río Jamor y los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, en los escenarios *histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5, para cada especie estudiada, se presentan en el Cuadro 10.

Con respecto a los resultados del valor de idoneidad logística para el rango de distribución actual en la CH Río Jamor y el PE-PVQ, con un umbral mayor de 0.5, como nivel de probabilidad de presencia, se identifican tres especies: *A. linkianum*, *C. longifolia*, y *Q. coccifera* (véase Figura 60).

En relación a los resultados del valor de idoneidad logística para el rango de distribución futuro en el año 2070 en la CH Río Jamor y el PE-PVQ, con un umbral mayor de 0.5, como nivel de probabilidad de presencia, independientemente de los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, se identifican cinco especies: *A. linkianum*, *C. longifolia*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus* y *S. sclareoides* (véase Figura 61 a 67).

En cuanto a los resultados de los rangos de distribución para el año 2070 en el área de Portugal continental, los modelos proyectan cambios para las 16 especies modeladas, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. *A. linkianum*, *C. longifolia*, *L. stoechas*, *P. broteri*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus*, y *S. sclareoides* presentan un aumento en el área de distribución de sus hábitats; *C. salviifolius*, *C. valentina subsp. glauca*, *G. Illyricus*, y *O. fusca* experimentan una reducción en sus área de distribución de los hábitats; *H. stoechas subsp. stoechas*, *C. albidus*, *O. anthropophora*, y *O. italica* experimentan una reducción en el área de distribución de sus hábitats bajo el escenario SSP2-4.5 y un aumento en el área de distribución bajo el escenario SSP5-8.5. Por su parte, *T. fruticans* experimenta un aumento en el área de distribución de sus hábitats bajo el escenario SSP2-4.5 y una reducción bajo el escenario SSP5-8.5.

En la sección 4.1, en el segundo apartado correspondiente a cada especie, se exponen con mayor detalle los resultados de los rangos de distribución de hábitats proyectados para el año 2070, contemplando los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora.

Cuadro 10. Valor de idoneidad logística de las especies y del área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores al 0.5 (km²) (Elaboración propia, 2023).

	Nombre científico	Valor de idoneidad logística				Área dentro del rango modelado donde los valores de idoneidad logística fueron mayores al 0.5 (km ²)				
		Escenarios de cambio climático CMIP6	CH Río Jamor	Matinha de Queluz	Autopista IC19	PVQ	Portugal continental	CH Río Jamor	Sintra	Oeiras
1	<i>Antirrhinum linkianum</i>									
	histórico	0,70	0,66	0,70	0,68	1862,36	44,20	290,13	44,78	23,75
	SSP2-4.5	0,70	0,71	0,72	0,72	2253,05	44,18	296,40	44,78	23,75
	SSP5-8.5	0,71	0,71	0,73	0,72	1840,53	44,20	284,03	44,78	23,75
2	<i>Cephalanthera longifolia</i>									
	histórico	0,56	0,49	0,62	0,55	2136,30	34,16	118,97	27,44	16,66
	SSP2-4.5	0,57	0,50	0,66	0,58	2214,57	32,28	132,15	31,99	16,59
	SSP5-8.5	0,56	0,46	0,68	0,57	2271,10	31,18	116,19	32,01	16,76
3	<i>Cistus albidus</i>									
	histórico	0,28	0,43	0,29	0,36	2255,89	1,69	0,00	2,17	0,01
	SSP2-4.5	0,25	0,34	0,24	0,29	2237,96	0,00	0,00	0,00	0,00
	SSP5-8.5	0,31	0,45	0,26	0,36	2352,44	2,13	0,00	2,61	0,01
4	<i>Cistus salviifolius</i>									
	histórico	0,30	0,24	0,25	0,24	226,64	0,84	1,64	0,96	0,10
	SSP2-4.5	0,32	0,22	0,26	0,24	215,30	0,84	3,32	0,96	0,10
	SSP5-8.5	0,32	0,25	0,26	0,26	211,78	0,84	2,52	0,96	0,10
5	<i>Coronilla valentina glauca</i>									
	histórico	0,45	0,44	0,33	0,38	1782,92	14,53	32,61	25,70	16,79
	SSP2-4.5	0,47	0,48	0,32	0,40	1671,00	18,10	64,86	32,49	16,50
	SSP5-8.5	0,49	0,47	0,30	0,39	1734,83	18,63	74,22	32,30	16,94
6	<i>Gladiolus illyricus</i>									
	histórico	0,45	0,40	0,35	0,37	1671,41	18,32	48,71	23,26	18,23
	SSP2-4.5	0,44	0,41	0,33	0,37	1558,74	13,58	45,16	20,62	14,36
	SSP5-8.5	0,45	0,45	0,34	0,40	1653,99	14,61	55,24	28,41	16,24
7	<i>Helichrysum stoechas stoechas</i>									
	histórico	0,24	0,13	0,21	0,17	364,46	0,82	0,32	1,20	4,64
	SSP2-4.5	0,26	0,15	0,23	0,19	360,53	1,22	1,20	0,76	5,02
	SSP5-8.5	0,28	0,16	0,24	0,20	371,56	1,22	1,67	2,05	5,94

8	<i>Lavandula stoechas</i>									
	histórico	0,38	0,42	0,28	0,35	2382,34	8,49	23,59	20,20	2,77
	SSP2-4.5	0,38	0,44	0,33	0,38	2645,74	7,61	18,21	19,17	1,68
	SSP5-8.5	0,41	0,48	0,34	0,41	2568,00	11,37	39,18	24,32	2,44
9	<i>Ophrys fusca</i>									
	histórico	0,43	0,50	0,30	0,40	1112,08	8,45	36,85	11,47	2,73
	SSP2-4.5	0,45	0,62	0,36	0,49	1062,40	11,54	39,99	9,89	5,36
	SSP5-8.5	0,46	0,58	0,31	0,44	1088,19	14,58	53,33	6,15	8,53
10	<i>Orchis anthropophora</i>									
	histórico	0,45	0,53	0,31	0,42	826,09	12,13	28,05	9,34	5,81
	SSP2-4.5	0,43	0,58	0,34	0,46	797,83	7,79	27,05	6,83	6,29
	SSP5-8.5	0,46	0,54	0,29	0,42	986,70	14,89	45,59	9,44	7,25
11	<i>Orchis italica</i>									
	histórico	0,42	0,49	0,34	0,41	1313,23	11,67	22,46	1,68	5,44
	SSP2-4.5	0,39	0,51	0,36	0,43	1310,96	4,57	12,25	1,71	4,51
	SSP5-8.5	0,43	0,49	0,33	0,41	1422,47	13,19	37,14	1,24	5,44
12	<i>Paeonia broteri</i>									
	histórico	0,28	0,49	0,30	0,40	594,44	1,25	17,33	0,44	0,87
	SSP2-4.5	0,30	0,48	0,26	0,37	670,74	2,10	23,03	0,44	3,58
	SSP5-8.5	0,29	0,50	0,20	0,35	712,53	2,84	22,87	0,44	3,58
13	<i>Quercus coccifera</i>									
	histórico	0,54	0,67	0,51	0,59	2819,92	26,85	118,20	30,18	15,36
	SSP2-4.5	0,54	0,69	0,48	0,58	2874,37	26,50	118,81	32,47	14,78
	SSP5-8.5	0,54	0,71	0,49	0,60	2881,70	27,52	131,12	38,82	14,66
14	<i>Salvia rosmarinus</i>									
	histórico	0,58	0,44	0,46	0,45	1284,25	25,51	61,25	23,63	21,16
	SSP2-4.5	0,60	0,46	0,55	0,50	1519,75	28,67	66,02	26,33	22,34
	SSP5-8.5	0,62	0,56	0,51	0,53	1427,81	33,82	81,34	28,34	22,84
15	<i>Salvia sclareoides</i>									
	histórico	0,49	0,46	0,35	0,41	2065,41	15,80	172,56	38,63	11,07
	SSP2-4.5	0,56	0,61	0,50	0,56	2324,28	36,73	144,94	43,83	21,52
	SSP5-8.5	0,50	0,53	0,41	0,47	2185,89	20,74	129,71	42,48	14,33
16	<i>Teucrium fruticans</i>									
	histórico	0,42	0,33	0,23	0,28	562,76	11,80	13,81	15,97	15,99
	SSP2-4.5	0,41	0,27	0,23	0,25	569,40	11,28	26,48	18,16	13,80
	SSP5-8.5	0,40	0,28	0,23	0,26	561,95	11,50	25,74	18,00	15,24

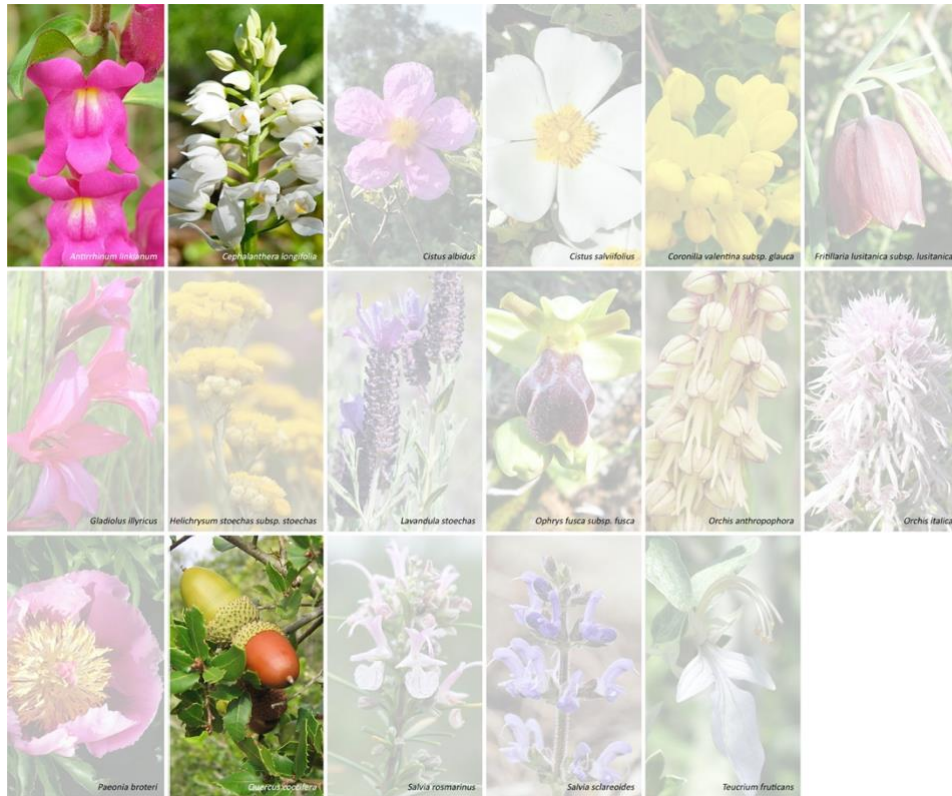


Figura 60. *A. linkianum*, *C. longifolia*, y *Q. coccifera* con probabilidad de presencia para el rango de distribución actual en la CH Río Jamor y el PE-PVQ (Elaboración propia, 2023).

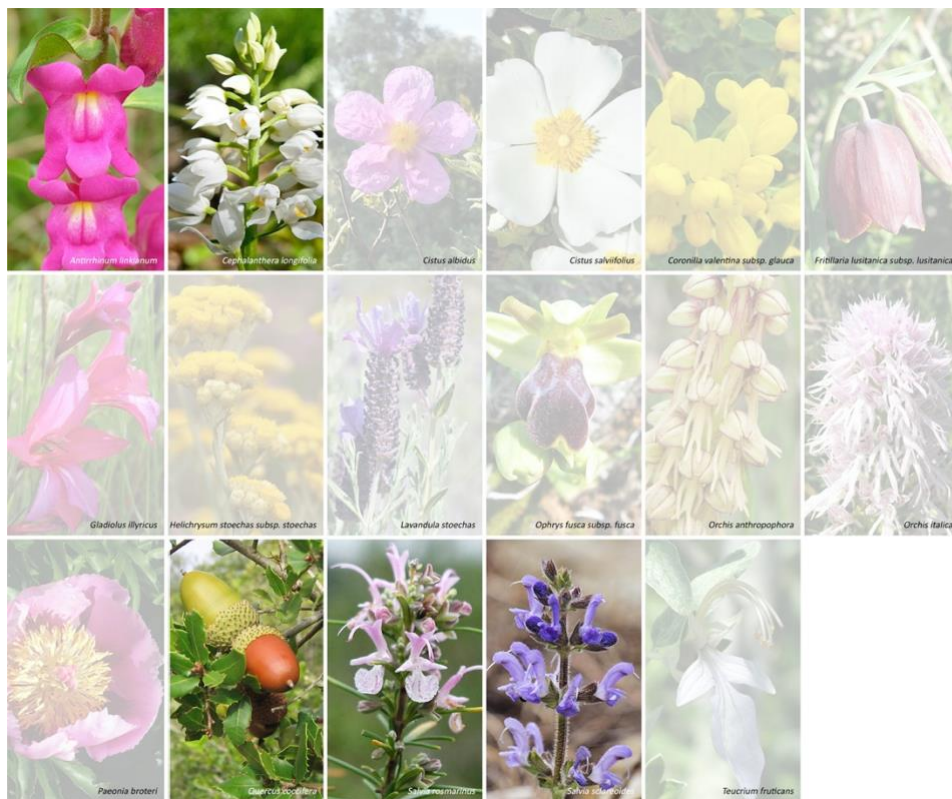


Figura 61. *A. linkianum*, *C. longifolia*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus* y *S. sclareoides* con probabilidad de presencia para el rango de distribución futuro en el año 2070 en la CH Río Jamor y el PE-PVQ (Elaboración propia, 2023).



Figura 62. Visualización aérea del PE-PVQ, dirección desde los jardines del PNO, hacia la *Matinha de Queluz*, sobre la autopista IC19 (Elaboración propia, 2023).



Figura 63. Visualización del PE-PVQ en el año 2070, basada en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la cual destaca los posibles impactos de estos escenarios en el paisaje vegetal propuesto (Elaboración propia, 2023).



Figura 64. Visualización del PE-PVQ, dirección desde los jardines del PNQ, hacia la *Matinha de Queluz*, sobre la autopista IC19 (Elaboración propia, 2023).



Figura 65. Visualización del PE-PVQ en el año 2070, basada en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la cual destaca los posibles impactos de estos escenarios en el paisaje vegetal propuesto (Elaboración propia, 2023).



Figura 66. Visualización del PE-PVQ, dirección desde la *Matinha de Queluz* hacia los jardines del PNQ, sobre la autopista IC19 (Elaboración propia, 2023).



Figura 67. Visualización del PE-PVQ en el año 2070, basada en los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, la cual destaca los posibles impactos de estos escenarios en el paisaje vegetal propuesto (Elaboración propia, 2023).

5.2 Discusión

Los resultados obtenidos permiten una interpretación y descripción parcial de los hábitats actuales y futuros de 16 especies vegetales propuestas en el contexto del PE-PVQ, considerando escenarios de cambio climático. Esto refuerza y amplía los conocimientos de campo recopilados por BIOTA (2017) y Cancela *et al.* (2017, 2018, 2019, 2020), y tiene implicaciones directas para la concretización de acciones de conservación y restauración del paisaje vegetal en contextos urbanos, como en los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, en el marco del Proyecto Intermunicipal EVA y específicamente en el PE-PVQ.

La cartografía generada no solo facilita esta interpretación y descripción parcial del hábitat actual de cada especie, sino que también revela las áreas donde los hábitats se perderán, se mantendrán o aumentarán en el futuro. Las áreas que conservan y aumentan sus hábitats podrían considerarse refugios climáticos de retención y desplazamiento (Araújo *et al.*, 2022). En el marco del Proyecto Intermunicipal EVA, las especies *A. linkianum*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus*, y *S. sclareoides* pueden ser seleccionadas y utilizadas en dichas áreas dentro de los *concelhos* Sintra, Oeiras y Amadora para contribuir con la consolidación del eje ecológico contemplado a lo largo del Río Jamor.

Los resultados enfatizan la importancia de seleccionar y utilizar cinco especies resilientes al cambio climático en el PE-PVQ, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. *A. linkianum*, *C. longifolia*, y *Q. coccifera*, emergen como especies resilientes debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugio climático de retención, donde las condiciones climáticas son adecuadas y estables para la persistencia y adaptación de estas especies. *S. rosmarinus* y *S. sclareoides*, también sobresalen como especies resilientes a cambio climático, debido a que el PE-PVQ se encuentra dentro del área considerada como posible refugios climáticos de desplazamiento, donde las condiciones climáticas cambian lo suficiente, permitiendo su persistencia y adaptación.

No obstante, algunos resultados plantean preocupaciones al seleccionar y utilizar 11 especies que no se consideran viables en el PE-PVQ, a saber: *C. albidus*, *C. salviifolius*, *C. valentina subsp. glauca*, *G. Illyricus*, *H. stoechas subsp. stoechas*, *L. stoechas*, *O. fusca*, *O. anthropophora*, *O. italica*, *P. broteroi*, y *T. fruticans*. Esto se debe a que los valores de idoneidad logística pronosticados en la CH Río Jamor y el PE-PVQ no concuerdan con el rango de distribución actual y futuro de estas especies. Estas discrepancias se mantienen consistentes sin importar los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Estos hallazgos cumplen con los objetivos de esta investigación al proporcionar información valiosa sobre las especies resilientes y las áreas de refugio climático de retención y desplazamiento. Esto podría implicar prácticas adicionales para la planificación y gestión urbana, en relación con la conservación y restauración del paisaje vegetal, en la identificación y optimización de refugios climáticos urbanos y establecimiento de corredores climáticos urbanos.

No obstante, es fundamental considerar algunas limitaciones de la investigación. Los SDMs no son diseñados para mantener la capacidad de predicción en el espacio ni en el tiempo, lo que resulta en modelos que incorporan los efectos de correlaciones entre conjuntos de datos con limitación de la fisiología, la demografía, la dispersión, las interacciones bióticas, la adaptación y el cambio en los impulsores ambientales (Anderson, 2012; Urban *et al.*, 2016; Zurell, 2017).

Además, existen numerosas incertidumbres en las proyecciones climáticas futuras, y el rango de incertidumbres surgen de imperfecciones de los GCMs en la representación de procesos físicos y dinámicos a escala local y planetaria en los subsistemas del clima de la Tierra y sus interacciones (Tatebe *et al.*, 2019). Asimismo, los desajustes de escala espacial entre el tamaño de grano de los resultados de los GCMs, las variables bioclimáticas y medioambientales, y los datos de presencia y ausencia utilizados como entradas para los SDMs pueden amplificar las incertidumbres inherentes a cada uno de estos conjuntos de datos (Root y Schneider, 1993; Wiens y Bachelet, 2010).

Por otra parte, a pesar de mencionarse la importancia de identificar especies resilientes a cambio climático no se profundiza en las prácticas específicas de conservación y restauración que podrían ser aplicables para estas especies en el contexto del PE-PVQ. Según Araújo *et al.* (2019), las proyecciones de SDMs en áreas que una especie podría habitar en escenarios climáticos futuros resultan fundamentalmente más desafiantes y rara vez pueden emplearse directamente en aplicaciones prácticas de conservación y/o gestión.

Para investigaciones futuras, se podrían llevar a cabo el monitoreo y considerar estrategias de conservación y/o gestión orientadas a asegurar la adaptación y supervivencia de *A. linkianum*, *C. longifolia*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus* y *S. sclareoides* en el futuro, en el PE-PVQ, así como identificar áreas de refugios climáticos para su implementación, idealmente dentro del eje ecológico del Proyecto Intermunicipal EVA. Además, sería sumamente valioso considerar la interacción entre especies y cómo los cambios en la distribución de una especie podrían afectar a otras en el mismo ecosistema. Una validación más exhaustiva de los resultados de los SDMs mediante datos de campo también sería beneficiosa para fortalecer la confiabilidad de las predicciones y, eventualmente, de las proyecciones.

En resumen, los resultados obtenidos en esta investigación permiten interpretar y describir parcialmente los hábitats actuales y futuros de 16 especies propuestas en el contexto del PE-PVQ bajo escenarios de cambio climático. Estos resultados refuerzan conocimientos previos y tienen implicaciones directas para acciones de conservación y restauración en contextos urbanos. La cartografía generada facilita esta interpretación al mostrar la distribución de hábitats en el futuro, identificando áreas de refugio climático de retención y desplazamiento. Esto podría implicar prácticas adicionales para la planificación y gestión urbana, en la identificación y optimización de refugios climáticos urbanos y establecimiento de corredores climáticos urbanos. Cinco especies resilientes al cambio climático se destacan, y se recomienda su uso para contribuir al eje ecológico del Proyecto Intermunicipal EVA. No obstante, se debe considerar la limitación de los SDMs y las incertidumbres en las proyecciones climáticas. Se sugiere un enfoque de monitoreo y conservación, considerando interacciones entre especies y validando los resultados de los SDMs con datos de campo. Estos hallazgos cumplen con los objetivos, pero se destaca la necesidad de abordar las limitaciones y mejorar la estrategia de conservación en el PE-PVQ.

5.3 Replicabilidad

El presente estudio presenta un enfoque sumamente replicable en su metodología y procedimientos desarrollados en esta investigación. Los materiales y métodos detallados en la sección 3.6 presentan minuciosamente cómo se recopilan los datos, se seleccionan las variables bioclimáticas y medioambientales, se eligen los modelos climáticos y se aplican los algoritmos estadísticos para modelar la distribución de las especies en estudio. Este nivel de detalle resulta esencial para que otros investigadores puedan reproducir los mismos pasos y obtener resultados comparables.

Para replicar este estudio, otros investigadores deben comenzar por acceder a la plataforma GBIF para obtener los datos de ocurrencia de las especies. Es esencial aplicar el mismo criterio de selección de datos validados por especialistas y eliminar registros duplicados con el fin de garantizar la calidad de los datos. Con respecto a las variables bioclimáticas y medioambientales, se detalla cómo se obtienen los datos de diversas fuentes como SRTM (Farr *et al.*, 2007), WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005), CHIRPS (Funk *et al.*, 2015), CGLS-LC100 *Collection 3* (Buchhorn *et al.*, 2020), MCD12Q1 6.1 (Friedl y Sulla-Menashe, 2022), VNP13A1 (Didan y Barreto, 2018) y gHM (Kennedy *et al.*, 2019). Los investigadores que busquen replicar este estudio deberán adquirir estos datos y emplear las mismas variables en sus análisis iniciales para mantener la coherencia. La elección de los escenarios de cambio climático del AR6 IPCC (*histórico*, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) es crucial para prever los hábitats actuales y proyectar los futuros. Se requerirá una comprensión minuciosa de estos datos y cómo se correlacionan con los GCMs (CESM2 y MIROC6). La modelización de la distribución de las especies se realiza mediante dos algoritmos de aprendizaje automático, MaxEnt y *Random Forest*. Los SDMs deberán construirse siguiendo exactamente las mismas configuraciones y parámetros descritos. La evaluación del rendimiento de los modelos, la generación de puntos de ausencia aleatorios y la medición de la precisión también deberán replicarse fielmente, al igual que el análisis espacial.

Esta exhaustiva descripción de los métodos, materiales y procesos brinda a otros investigadores la oportunidad de continuar y expandir el presente estudio, lo que podría conducir a una comprensión más profunda de la distribución de las especies en respuesta al cambio climático y los cambios en el rango de distribución de las especies.

En resumen, el presente trabajo demuestra un enfoque exhaustivo y detallado que permite a otros investigadores seguir los mismos pasos para obtener resultados comparables. La transparencia en la metodología y la disposición de datos contribuyen en gran medida a la construcción de un conocimiento científico sólido y confiable (Dyson *et al.*, 2023).

5.4 Conclusiones

La presente investigación ha arrojado resultados substanciales que proporcionan una interpretación sólida y una descripción parcial de los hábitats actuales y futuros de 16 especies vegetales autóctonas de Portugal continental propuestas en el contexto del PE-PVQ, considerando diferentes escenarios de cambio climático. Estos resultados han enriquecido y ampliado los conocimientos obtenidos en estudios previos, y tienen implicaciones directas para la formulación de estrategias concretas en la conservación y restauración del paisaje vegetal en contextos urbanos, específicamente en los *concelhos* de Sintra, Oeiras y Amadora, en el marco del Proyecto Intermunicipal EVA y, de manera particular, en el PE-PVQ.

La metodología desarrollada, que emplea SDMs, se presenta como una herramienta valiosa para la planificación y gestión urbana, en particular en la identificación y optimización de *refugios climáticos urbanos* y establecimiento de *corredores climáticos urbanos*. Los mapas producidos permiten una interpretación detallada de la distribución actual y futura de 16 especies autóctonas de Portugal continental (*A. linkianum*, *C. longifolia*, *C. albidus*, *C. salviifolius*, *C. valentina subsp. glauca*, *G. illyricus*, *H. stoechas subsp. stoechas*, *L. stoechas*, *O. fusca subsp. fusca*, *O. anthropophora*, *O. italica*, *P. broteri*, *Q. coccifera*, *S. rosmarinus*, *S. sclareoides* y *T. fruticans* L.).

La relevancia de la investigación se acentúa al identificar especies resilientes al cambio climático en el PE-PVQ, independientemente de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. De 16 especies propuestas en el contexto del PE-PVQ únicamente cinco se podrían considerarse como especies resilientes al cambio climático. *A. linkianum*, *C. longifolia* y *Q. coccifera* emergen como ejemplos de especies resilientes debido a la correspondencia entre las condiciones climáticas de PE-PVQ y los posibles refugios climáticos de retención. Por otro lado, *S. rosmarinus* y *S. sclareoides* sobresalen como especies resilientes a cambio climático, ya que pueden persistir y adaptarse en los refugios climáticos de desplazamiento dentro de PE-PVQ. No obstante, las especies restantes presentan desafíos para su selección y uso en PE-PVQ, ya que su rango proyectado de distribución no se ajustan al Área de Estudio, independientemente de los escenarios climáticos. Esto subraya la necesidad de precaución al elegir y aplicar ciertas especies.

En el ámbito de Urbanismo, estos hallazgos sugieren posibles aplicaciones prácticas, como la planificación y gestión de áreas verdes urbanas en función de las especies resilientes identificadas. La creación de refugios climáticos urbanos y el establecimiento de corredores climáticos urbanos podrían ser ejemplos concretos de acciones a considerar dentro de instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio.

En resumen, este estudio ofrece una visión clara y valiosa de los hábitats actuales y futuros de 16 especies propuestas en el contexto del PE-PVQ en escenarios de cambio climático. Además de contribuir a los objetivos iniciales, se resalta la necesidad de abordar las limitaciones inherentes a los modelos predictivos y las incertidumbres climáticas. Para futuras investigaciones, se sugiere un enfoque de monitoreo constante, estrategias de conservación adaptativas y validación empírica de los modelos predictivos, fortaleciendo la confiabilidad de las predicciones y garantizando un enfoque más robusto hacia la gestión del paisaje vegetal del PE-PVQ. Este estudio trasciende no solo los objetivos específicos, sino que también abre la puerta a una planificación urbana más efectiva y consciente de las complejas interacciones entre el cambio climático antropogénico y la biodiversidad, particularmente en los cambios en la distribución de los hábitats de las especies.

BIBLIOGRAFIA

- Aedo, C. (s.f.a). Aceras anthropophorum. En *ACERAS R. Br.* Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/21_189_19_Aceras.pdf (Consulta realizada el 30 de agosto de 2017).
- Aedo, C. (s.f.b). Orchis italica. En *CLXXXIX. Orchidaceae. 18. Orchis.* Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/21_189_18_Orchis.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Agresti, A. (2007). *An introduction to categorical data analysis* (2nd ed.). Wiley-Interscience, a John Wiley & Sons, Inc.
- Alarcón M.L y Aedo C. (2002). *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch en *Anales Jard. Bot. Madrid* 59:227-248.
- Aldasoro, J. J., y Sáez, L. (s.f.a). *Ophrys*. CLXXXIX. ORCHIDACEAE. 24. OPHRYS. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/21_189_24_Ophrys.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Aldasoro, J. J., y Sáez, L. (s.f.b). *Ophrys lutea*. CLXXXIX. ORCHIDACEAE. 24. OPHRYS. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/21_189_24_Ophrys.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Alonso, M. A., y Crespo, M. B. (s.f.). *Gladiolus illyricus*. CLXXXV. IRIDACEAE. 16. GLADIOLUS. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/20_185_16_Gladiolus.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Amann, M., Z. Klimont, y F. Wagner (2013). Regional and Global Emissions of Air Pollutants: Recent Trends and Future Scenarios. *Annual Review of Environment and Resources*, 38(1), 31–55.
- AMNH. (2023). *MaxEnt software for modeling species niches and distributions*. Maxent is now open source! Recuperado de https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Anderson, R. P. (2012). Harnessing the world's biodiversity data: promise and peril in ecological niche modeling of species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1256(1), 18-28.
- Andrews, T., Foster, P., Boucher, O., Bellouin, N., y Jones, A. (2010). Precipitation, radiative forcing and global temperature change. *Geophysical Research Letters*, 37, L14701.
- Araújo, M. B., Anderson, R. P., Barbosa, A. M., Beale, C. M., Dormann, C. F., Early, R. I., ... y Zurell, D. (2019). Standards for distribution models in biodiversity assessments – Supplementary Materials. *Science Advances*, 5, eaat7979.
- Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W., y Erhard, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9), 1504-1513.
- Araújo, M.B. (Coord), Antunes, S., Gonçalves, E.J., Marques, A., Paulino, J., Santos, R., ... y Gouveia, C. (2022). *Biodiversidade 2030: Nova agenda para a conservação em contexto de alterações climáticas*. Universidade de Évora y Fundo Ambiental, Ministério do Ambiente e da Ação Climática, Lisboa.

- Arbeláez, F., y Bouten, W. (2005). Applications of Artificial Neural Networks in Ecology: A critical review of the used techniques. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Universiteit van Amsterdam. Recuperado de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=9b4c0b204a575d9c1717fa80ee319141aeb3e011> (Consulta realizada el 29 de junio de 2024).
- Austin, M. P., y Van Niel, K. P. (2011). Improving species distribution models for climate change studies: Variable selection and scale. *Journal of Biogeography*, 38(1), 1–8.
- Benedí, C., y Güemes, J. (s.f.). *Chaenorhinum origanifolium*. CXLIV. SCROPHULARIACEAE-ANTIRRHINEAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/13_144_04_Chaenorhinum.pdf (Consulta realizada el 27 de marzo de 2017).
- Bengtsson, L., Hodges, K. I., Esch, M., Keenlyside, N., Kornblueh, L., Luo, J.-J., y Yamagata, T. (2007). How may tropical cyclones change in a warmer climate? *Tellus*, 59A, 539-561.
- BIOTA (2017). 'Projeto Ponte Verde de Queluz – Continuidade Ecológica - Proposta. Biodesign, Ambiente e Paisagem, Lda. (21 de marzo de 2017).
- Boville, B. A., y Gent, P. R. (1998). The NCAR Climate System Model, version one. *Journal of Climate*, 11, 1115–1130.
- Boyce, M. S., Vernier, P. R., Nielsen, S. E., y Schmiegelow, F. K. (2002). Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 281-300.
- Breiman, L. (1996a). *Bagging predictors*. *Machine Learning* 26(2), 123–140.
- Breiman, L. (1996b). *Out-of-bag estimation*. Statistics Department, University of California, Berkeley, CA. 94708.
- Breiman, L. (2001). *Random forests*. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- Brown, J.H., Stevens, G.C. y Kaufman, D.M. (1996). The geographic range: size, shape, boundaries and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27, 597–623.
- Brun, P., Barbet-Massin, M., Munoz, F., Renaud, J., Thuiller, W., y Lavergne, S. (2020). Model complexity affects species distribution projections under climate change. *Journal of Biogeography*, 47, 130-142.
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N.E., Herold, M., Bertels, L., Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers-Collection 2. *Remote Sensing 2020*, 12 Volume 108, 1044.
- Buri, A., Gonseth, Y., Carbognani, M., Zanetta, A., y Guisan, A. (2020). What are the most crucial soil variables for predicting the distribution of mountain plant species? A comprehensive study in the Swiss Alps. – *Journal of Biogeography*, 47, 1143–1153.
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., ... y Purvis, A. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328(5982), 1164-1168.

- Câmara, G., Souza, R., Pedrosa, B., Vinhas, L., Monteiro, A.M.V., Paiva, J.A., ... y Gattass, M. (2000). TerraLib: Technology in Support of GIS Innovation. *Proc. II Brazilian Symposium on Geoinformatics GeoInfo2000*, 2, 1-8.
- Cancela, J., Orozco, A.M., Fernandes, S., Casanova, S., Barroso, A., Freire, R., ... y Garcia, S. (2020). Memória Descritiva de Arquitetura-Paisagista (MDAP): Projeto Ponte Verde de Queluz, Revisão Técnica (Fase 1). - (2019): Projeto de Execução (Fase 1). - (2018): Anteprojeto. - (2017): Estudos Prévios. BIODESIGN y TETRAPLANO, Lisboa, Portugal.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... y Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. – *Nature*, 486, 59–67.
- Carvalho, J.E. (2009). *Metodologia do Trabalho Científico: <Saber-Fazer> da investigação para dissertações e teses*. (2ª Ed.). Lisboa: Escolar Editora.
- Castroviejo, S., y Velayos, M. (s.f.a). *Sedum album*. LXXXV. CRASSULACEAE. 7. SEDUM. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/05_085_07%20Sedum.pdf (Consulta realizada el 27 de marzo de 2017).
- Castroviejo, S., y Velayos, M. (s.f.b). *Sedum sediforme*. LXXXV. CRASSULACEAE. 7. SEDUM. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/05_085_07%20Sedum.pdf (Consulta realizada el 27 de marzo de 2017).
- Ceballos, G., P.R. Ehrlich, and R. Dirzo, (2017). *Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089–E6096.
- Chauvier, Y., Zimmermann, N. E., Thuiller, W., Vrac, M., Lavorel, S., Araújo, M. B., y Litsios, G. (2021). Influence of climate, soil and land cover on plant species distribution in the European Alps. – *Ecological Monographs*, 91, e01446.
- Chen, D., Rojas, M., Samset, B.H., Cobb, K., Diongue Niang, A., Edwards, P., ... y Tréguier, A.-M. (2021). Framing, Context, and Methods. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, ... B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 147–286.
- CHIRPS. (s.f.). *CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations*. Recuperado de <https://chc.ucsb.edu/data/chirps> (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Collins, W. D., Bitz, C. M., Blackmon, M. L., Bonan, G. B., Bretherton, C. S., Carton, J. A., ... y Smith, R. D. (2006). The Community Climate System Model Version 3 (CCSM3). *Journal of Climate*, 19, 2122–2143.

- Copernicus. (s.f.a). *Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3*. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_Landcover_100m_Proba-V-C3_Global (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Copernicus. (s.f.b). *Copernicus Global Land Service. Providing bio-geophysical products of global land surface*. Recuperado de <https://land.copernicus.eu/en> Consulta realizada el 04 de enero de 2023).
- Cossu, R., Petitdidier, M., Linford, J., Badoux, V., Fusco, L., Gotab, B., Hluchy, L., ... y Vetois G.. (2010). A roadmap for a dedicated earth science grid platform. *Earth Science Informatics*, 3(3).
- Coudun, C., Gegout, J. C., Piedallu, C., Rameau, J. C., y Kraft, G. (2006). Soil nutritional factors improve models of plant species distribution: an illustration with *Acer campestre* (L.) in France. – *Journal of Biogeography*, 33, 1750–1763.
- Cover, T. M., y Thomas, J. A. (2006). *Elements of information theory* (2nd ed.). Wiley-Interscience, a John Wiley & Sons, Inc.
- Crutzen, P.J. y Stoermer, E.F. (2000). The ‘Anthropocene’. *IGBP Newsletter*, 17–18.
- CSP. (s.f.). *CSP gHM: Global Human Modification*. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/CSP_HM_GlobalHumanModification (Consulta realizada el 04 de enero de 2023).
- Danabasoglu, G., Lamarque, J. F., Bacmeister, J., Bailey, D. A., DuVivier, A. K., Edwards, J., ... y Lauritzen, P. H. (2020). The Community Earth System Model version 2 (CESM2). *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(11).
- Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., y Magné, B. (2017). Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 200–214.
- Deming, M. E., y Swaffield, S. (2011). *Landscape architectural research: Inquiry, strategy, design*. New Jersey: John Wiley y Sons.
- Demoly, J. P., y Montserrat, P. (s.f.a). *Cistus albidus*. LXVI. CISTACEAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/03_066_01_Cistus.pdf (Consulta realizada el 23 de marzo de 2017).
- Demoly, J. P., y Montserrat, P. (s.f.b). *Cistus salviifolius*. LXVI. CISTACEAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/03_066_01_Cistus.pdf (Consulta realizada el 23 de marzo de 2017).
- Didan, K., Barreto, A. (2018). VIIRS/NPP Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V001. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Dierckx, W., Sterckx, S., Benhadj, I., Livens, S., Duhoux, G., Van Achteren, T., ... y Saint, G. (2016). PROBA-V mission for global vegetation monitoring: Standard products and image quality. *International Journal of Remote Sensing*, 37, 1973.

- Diffenbaugh, N.S., y Field, C.B. (2013). Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. *Science*, 341(6145), 486-492.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., ... y Lautenbach, S. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36, 27–46.
- Dornelas, M., Antão, L.H., Moyes, F., Bates, A.E., Magurran, A.E., Adam, D., ... y Edwards, F. (2014). Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. *Science*, 344(6181), 296-299.
- Dornelas, M., Madin, E.M., Baird, A.H., Ferreira, C.E.L., García, V.B., Kuo, C.Y., ... y Strona, G. (2019). A balance of winners and losers in the Anthropocene. *Ecology Letters*, 22(5), 847-854.
- Dyson, K., Dawwas, E., Poulton Kamakura, R., Alberti, M., y Fuentes, T. L. (2023). Increasing site selection transparency in urban ecology. *Ecology and Evolution*, 13(6), 4466.
- EEA (2020). Copernicus CORINE Land Cover. Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 2020_20u1.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... y Lehmann, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.
- Elith, J., J. R. Leathwick, y T. Hastie. (2008). A Working Guide to Boosted Regression Trees. *Journal of Animal Ecology* 77: 802–13.
- Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y. E. Chee, y C. J. Yates. (2011). A Statistical Explanation of Maxent for Ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43–57.
- Elith, J., y Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. – *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697.
- Elmendorf, S.C., Henry, G.H.R., Hollister, R.D., Björk, R.G., Boulanger-Lapointe, N., Cooper, E.J., ... y Hik, D.S. (2015). Experiment, monitoring, and gradient methods used to infer climate change effects on plant communities yield consistent patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(2), 448-452.
- Erickson, R. O. (1945). The Clematis fremontii Var. RiehlII Population in the Ozarks. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 32, 413-460.
- Evans, P. y Brown C.D., (2017). The boreal–temperate forest ecotone response to climate change. *Environmental Reviews*, 25(4), 423–431,
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., y Taylor, K.E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958.
- Fahrig, L. (2001). How much habitat is enough? *Biological Conservation*, 100, 65–74.

- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515.
- Falcão, J. P. (2015). Plano Estratégico de Salvaguarda e Valorização do Palácio e sua envolvente. Fase 2 – Plano Base. Relatório Técnico das Propostas Incluídas no Plano Base. Lisboa, Portugal (original en Portugués).
- Farr, T. G., y Kobrick, M. (2000). Shuttle Radar Topography Mission produce una gran cantidad de datos. *Eos Transactions, American Geophysical Union*, 81, 583–585.
- Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... y Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission: Reviews of Geophysics, v. 45, no. 2, RG2004.
- Farthing, S. (2016). *Research Design in Urban Planning - A Student's Guide*. University of The West of England, Bristol SAGE Publications Ltd.
- Fielding, A. H., y Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38–49.
- Fisher, R. A. (1922). On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 222(594-604), 309-368.
- François, M., Santandrea, S., Mellab, K., Vrancken, D., y Versluys, J. (2014). The PROBA-V mission: The space segment. *International Journal of Remote Sensing*, 35, 2548–2564.
- Franklin, J. (2010). Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press.
- Franklin, J., Davis, F. W., Ikegami, M., Syphard, A. D., Flint, L. E., Flint, A. L., y Hannah, L. (2013). Modeling plant species distributions under future climates: How fine scale do climate projections need to be? *Global Change Biology*, 19(2), 473–483.
- Friedl, M., y Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061 [Conjunto de datos]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061> (Consulta realizada el 04 de enero de 2023).
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... y Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066.
- Gandhi, U. (2020). *End-to-end Google Earth Engine (Full Course Material): A hands-on introduction to applied remote sensing using Google Earth Engine*. Retrieved from <https://courses.spatialthoughts.com/end-to-end-gee.html> (Consulta realizada el 17 de marzo de 2023).
- Gaston, K. (2003). *The Structure and Dynamics of Geographic Ranges*. Oxford University Press, Oxford.

- GBIF. (2023a). *Antirrhinum linkianum* Boiss. y Reut. <https://doi.org/10.15468/dl.mnumg3> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023b). *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch. <https://doi.org/10.15468/dl.sh23hw> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023c). *Cistus albidus* L. <https://doi.org/10.15468/dl.nv7tub> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023d). *Cistus salviifolius* L. <https://doi.org/10.15468/dl.w2h66j> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023e). *Coronilla valentina* subsp. *glauca* (L.) Batt. <https://doi.org/10.15468/dl.qw6e9w> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023f). *Fritillaria lusitanica* subsp. *lusitanica* Wikstr. <https://doi.org/10.15468/dl.gsgmun> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023g). *Gladiolus illyricus* W.D.J.Koch. <https://doi.org/10.15468/dl.h9cbut> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023h). *Helichrysum stoechas* subsp. *stoechas* (L.) Moench. <https://doi.org/10.15468/dl.6ymczd> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023i). *Lavandula stoechas* L. <https://doi.org/10.15468/dl.jmtp54> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023j). *Ophrys fusca* Link. <https://doi.org/10.15468/dl.cj63cc> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023k). *Orchis anthropophora* (L.) All. <https://doi.org/10.15468/dl.na63t6> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023l). *Orchis italica* Poir. <https://doi.org/10.15468/dl.hewxau> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023m). *Paeonia broteroi* Boiss. y Reut. <https://doi.org/10.15468/dl.2at4z7> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023n). *Quercus coccifera* L. <https://doi.org/10.15468/dl.n2u4xg> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023o). *Salvia rosmarinus* Spenn. <https://doi.org/10.15468/dl.s85fpr> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023p). *Salvia sclareoides* Brot. <https://doi.org/10.15468/dl.dfyav5> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).
- GBIF. (2023q). *Teucrium fruticans* L. <https://doi.org/10.15468/dl.n7s9j6> (Consulta realizada el 28 de marzo de 2023).

- GBIF. (s.f.). *Global Biodiversity Information Facility. Free and open access to biodiversity data*. Recuperado de <https://www.gbif.org/> (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- GEE (s.f.). *Meet Earth Engine*. Recuperado de <https://earthengine.google.com/> (Consulta realizada el 19 de abril de 2021).
- Gent, P. R., Danabasoglu, G., Donner, L. J., Holland, M. M., Hunke, E. C., Jayne, S. R., ... y Zhang, M. (2011). The Community Climate System Model Version 4. *Journal of Climate*, 24, 4973–4991.
- GEO (s.f.). Earth observations for impact: *GEO gives you the power to make better decisions for people and planet*. Recuperado de <https://earthobservations.org> (Consulta realizada el 10 de julio de 2023).
- Gerring, J. (2007). *Case study research: Principles and practices*. Cambridge University Press.
- Gibbon, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., ... y Mills, T. (2000). The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians. *BioScience*, 50(8), 653–666.
- Gibson-Reinemer, D.K., Sheldon K.S., and Rahel, F.J. (2015). Climate change creates rapid species turnover in montane communities. *Ecology and Evolution*, 5(12), 2340–2347.
- Gil, A.C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6^{ta} Ed.). São Paulo: Atlas.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., y Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment Volume 202*, 18–27.
- Groat, L. y Wang, D. (2002). *Architectural research methods*. New York: John Wiley and Sons.
- Güemes, J. (s.f.a). *Fritillaria lusitanica*. CLXXXIII. LILIACEAE. 2. FRITILLARIA. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/20_183_02_Fritillaria.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Güemes, J. (s.f.b). *Antirrhinum linkianum*. CXLIV. SCROPHULARIACEAE – ANTIRRHINEAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/13_144_03_Antirrhinum.pdf (Consulta realizada el 23 de marzo de 2017).
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I., ... y Brotons, L. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. – *Ecology Letters*, 16, 1424–1435.
- Guisan, A., W. Thuiller, y N. E. Zimmermann (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models with Applications in R*. Cambridge University Press.
- Guisan, A., y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. – *Ecology Letters*, 8, 993–1009.
- Guisan, A., y Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. – *Ecological Modelling*, 135, 147–186.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... y Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth’s ecosystems. *Science Advances*, 1, e1500052.

- Harsch, M.A., P.E. Hulme, M.S. McGlone, y R.P. Duncan (2009). Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology Letters*, 12(10), 1040–1049.
- Hastie, T., Tibshirani, R., y Friedman, J. H. (2001). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction*. Springer.
- Hastie, T., Tibshirani, R., y Friedman, J. H. (2009). *The Elements of Statistical Learning*. Springer.
- Hastie, T., y Tibshirani, R. (1986). Generalized Additive Models. *Statistical Science*, 1(3), 297-310.
- Hasumi, H. (2006). CCSR Ocean Component Model (COCO) version 4.0. Center for Climate System Research Rep., 25, 103 pp.
- Helmstetter, N. A., Baldi, G., Meynard, C. N., Papaix, J., Bellido, A., y Pellissier, V. (2021). Balancing transferability and complexity of species distribution models for rare species conservation. *Diversity and Distributions*, 27, 95-108.
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., y Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29, 773–785.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., y Jarvis, A. (2005). Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- Hirzel, A. H., Hausser, J., y Perrin, N. (2006). *Biomapper 3.2*. Lab. for Conservation Biology, University of Lausanne, Lausanne.
- Hoegh-Guldberg, O. y Bruno, J.F. (2010). *The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems*. *Science*, 328(5985), 1523–1528.
- Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E. K., Hungate, B. A., Matulich, K. L., ... y Gonzalez, A. (2012). A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 486(7401), 105-108.
- Hughes, J.N., Annex, A., Eichelberger, C.N., Fox, A., Hulbert, A., y Ronquest, M. (2015). *GeoMesa: A distributed architecture for spatio-temporal fusion*. En *SPIE Defense + Security* (pp. 94730F–94730F). Sociedad Internacional de Óptica y Fotónica.
- Hurrell, J. W., Holland, M. M., Gent, P. R., Ghan, S., Kay, J. E., Kushner, P. J., Lamarque, J.-F., ... y Marshall, S. (2013). The Community Earth System Model: A framework for collaborative research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 1339–1360.
- Hurttt, G.C., Chini, L.P., Sahajpal, R., Froking, S., Bodirsky, B.L., Calvin, K., ... y Pongratz, J. (2020). Harmonization of global land use change and management for the period 850–2100 (LUH2) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 13, 5425–5464.
- IPBES (2016). El Informe de Evaluación Metodológica sobre Escenarios y Modelos de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Editado por Ferrier, S. *et al.*, Secretaría de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad; Servicios Ecosistémicos, Bonn, Alemania.

- IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In: *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* [Díaz, S., J. Settele, E.S. Brondízio, H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R.R. Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, and C.N. Zayas (eds.)]. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) Secretariat, Bonn, Germany, pp. 56.
- IPCC (2000). Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Nakićenović, N. and R. Swart (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 570 pp.
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: *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, and T. Waterfield (eds.)]. In Press, 32 pp.
- IPCC (2019a). 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 [Shukla, P.R., J. Skea, E.C. Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J.P. Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, and J. Malley (eds.)]. In Press, 896 pp.
- IPCC (2019b). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, and A. Okem (eds.)]. In Press, 755 pp.
- Jiang, L., y O'Neill, B.C. (2017). Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 193–199.
- Kemp, D.B., Eichenseer, K., y Kiessling, W. (2015). Maximum rates of climate change are systematically underestimated in the geological record. *Nature Communications*, 6, 8890.
- Kennedy, C.M., Oakleaf, J. R., Theobald, D. M., Baruch-Mordo, S., Kiesecker, J., y Konschnik, K. E. (2019). Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient. *Global Change Biology*, 25, 811-828.

- Kiehl, J. T., y Gent, P. R. (2004). The Community Climate System Model, version 2. *Journal of Climate*, 17, 3666–3682.
- Knutti, R., Masson, D., y Gettelman, A. (2013). Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophysical Research Letters*, 40, 1194–1199.
- Kriegler, E., O'Neill, B. C., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R., Moss, R., y Wilbanks, T. (2012). The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: a new approach based on shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 22(4), 807-822.
- La Marca, W., Mendoza, A. M., Feria Arroyo, T. P., Rodríguez, J. P., Echeverría-Londoño, S., Ochoa-Ochoa, L. M., ... y Sánchez-Cordero, V. (2019). The influence of data source and species distribution modelling method on spatial conservation priorities. *Diversity and Distributions*, 25, 1060-1073.
- Lakatos, E.M y Marconi, M de A. (2007). *Fundamentos de metodologia científica* (6^{ta} Ed.). São Paulo: Atlas.
- Lek, S., y Guegan, J. F. (1999). Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, 120, 65-73.
- Lenoir, J. y Svenning, J.C. (2015). Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*, 38(1), 15–28.
- Lenoir, J., Gégout, J.C., Marquet, P.A., De Ruffray, P., y Brisse, H. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*, 320 (5884), 1768–1771.
- Liaw, A., y Wiener, M. (2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2, 18–22.
- Liu, Y., Wang, Y., y Zhang, J. (2012). New Machine Learning Algorithm: Random Forest. In: Liu, B., Ma, M., Chang, J. (eds) Information Computing and Applications. ICICA 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7473. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Loiselle, B. A., Howell, C. A., Graham, C. H., Goerck, J. M., y Brooks, T. M. (2003). Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology*, 17, 1591–1600.
- Loveland, T. R., y Dwyer, J. L. (2012). Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*, 122, 22-29.
- LP-DAAC. (2018). *Release of VIIRS Vegetation Index Products*. Recuperado de <https://lpdaac.usgs.gov/news/release-of-viirs-vegetation-index-products/> (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Ma, L., Lawrence, D. M., Dee, D. P., Golaz, J. C., Lamarque, J. F., Emmons, L. K., ... y Yeager, S. (2020). Global rules for translating land-use change (LUH2) to land-cover change for CMIP6 using GLM2. *Geoscientific Model Development*, 13, 3203–3220.
- Macdonald, K. y Tipton, C. (1993). *Using Documents* in N. Fielding (ed.) *Researching Social life*. London: Sage.
- Mackey, B. y Lindenmayer, D.B. (2001). Towards a hierarchical framework for modelling the spatial distribution of animals. *Journal of Biogeography*, 28, 1147–1166.

- Martínez, M., Crespo, M. B., y Juan, A. (s.f.). *Ornithogalum baeticum*. CLXXXIII. LILIACEAE. 25. ORNITHOGALUM. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/20_183_25_Ornithogalum.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., Muñoz, J., y de Lucio, J. V. (2019). Hierarchical species distribution models in support of vegetation conservation at the landscape scale. – *Journal of Vegetation Science*, 30, 386–396.
- Maurer, E. P. y Hidalgo, H. G. (2008). Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 551-563.
- McCullagh, P., y Nelder, J. A. (1989). *Generalized linear models* (2nd ed.). Monographs on Statistics and Applied Probability, No. 37. London; New York: Chapman and Hall.
- McIntosh, E. J., Bryan, B. A., Kemsey, J., Maron, M., Brown, G., McAlpine, C. A., ... y Possingham, H. P. (2017). The impact of systematic conservation planning. – *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 677–697.
- McKinney, M. L., y Lockwood, J. L. (1999). Biotic homogenization: *a few winners replacing many losers in the next mass extinction*. *Trends in Ecology y Evolution*, 14(11), 450-453.
- MEA (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Policy Responses: Findings of the Responses Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment* (Vol. 3). Island Press.
- Meehl, G. A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J., y Taylor, K. E. (2007b). The WCRP CMIP3 multi-model dataset: a new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383–1394.
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., ... y Tsushima, Y. (2007a). *Global climate projections*. In S. Solomon et al. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (pp. 747-845). Cambridge University Press.
- Meine, C. (2014). What's so new about the 'New Conservation'? Pages 45–54 in G. Wuerthner, E. Crist, and T. Butler, editors. *Keeping the wild: against the domestication of Earth*. Foundation for Deep Ecology, San Francisco, California, USA and Island Press, Washington, D.C., USA.
- Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., ... y Wang, R. H. J. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13, 3571–3605.
- Merow, C., Smith, M. J., y Silander, J. A. (2013). A Practical Guide to Maxent for Modeling Species Distributions: What It Does, and Why Inputs and Settings Matter. *Ecography* 36: 1058–69.
- Mills, M., Álvarez-Romero, J. G., Vance-Borland, K., Cohen, P., Pressey, R. L., Guerrero, A. M., ... y Adams, V. M. (2019). How conservation initiatives go to scale. – *Nature Sustainability*, 2, 935–940.

- Mizuta, R. (2012). *Intensification of extratropical cyclones associated with the polar jet change in the CMIP5 global warming projections*, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L19707.
- Montserrat, P. (s.f.). *Anemone palmata*. XXXVI. RANUNCULACEAE: 12. ANEMONE L. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/01_036_12_Anemone.pdf (Consulta realizada el 30 de marzo de 2017).
- Morales, R. (s.f.a). *Rosmarinus officinalis*. CXL. LABIATAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/12_140_16_Rosmarinus.pdf (Consulta realizada el 23 de marzo de 2017).
- Morales, R. (s.f.b). *Thymus zygis*. CXL. LABIATAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/12_140_16_Rosmarinus.pdf (Consulta realizada el 23 de marzo de 2017).
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., ... y Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–756.
- Muñoz, F., y Navarro, C. (s.f.). *Paeonia broteri*. LVI. PAEONIACEAE. 1. PAEONIA. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/03_056_01_Paeonia.pdf (Consulta realizada el 27 de marzo de 2017).
- Nabil, M., Zhang, M., Bofana, J., Wu, B., Stein, A., Dong, T., ... y Shang, J. (2020). Assessing factors impacting the spatial discrepancy of remote sensing based cropland products: A case study in Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 102010.
- NASA, LP-DAAC y USGS EROS Center. (s.f.a). *MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m*. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MCD12Q1 (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- NASA, LP-DAAC y USGS EROS Center. (s.f.b). *VNP13A1: VIIRS Vegetation Indices 16-Day 500m*. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_001_VNP13A1 (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- NASA, USGS y JPL-Caltech. (s.f.). *NASA SRTM Digital Elevation 30m* [Conjunto de datos]. Earth Engine Data Catalog. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/USGS_SRTMGL1_003 (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- NASA. (2000). *NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second* [Conjunto de datos]. Earthdata. Recuperado de https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C1000000240-LPDAAC_ECS.html (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Navarro, L.M., Fernández, N., Guerra, C., Guralnick, R., Kissling, W. D., Londoño, M.C., ... y Pereira, H. M. (2017). Monitoring biodiversity change through effective global coordination. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 29, 158–169.

- Neeling, J. D., Munnich, M., Su, H., Meyerson, J. E., y Holloway, C. E. (2006). *Tropical drying trends in global warming models and observations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(16), 6110-6115.
- Nelder, J. A., y Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 135(3), 370-384.
- Nemani, R., Votava, P., Michaelis, A., Melton, F., Milesi, C. (2011). Collaborative supercomputing for global change science. EOS Transactions, *American Geophysical Union*, 92(13), 109-110.
- Ngo-Duc, T., Oki, T. y Kanae, S. (2007). A variable streamflow velocity method for global river routing model: model description and preliminary results. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4, 4389–4414.
- Numaguti, A., Takahashi, M., Nakajima, T., y Sumi, A. (1997). Description of CCSR/NIES atmospheric general circulation model. National Institute for Environmental Studies, Center for Global Environmental Research Supercomputer Monograph Rep., 3, 1–48.
- O'Donnell, M.S., e Ignizio, D.A. (2012). *Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States*. U.S. Geological Survey Data Series 691, 10 p.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., ... y Jiang, L. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387–400.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., (...) y Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169–180.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., ... y Ruru, S. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482.
- Oki, T. y Sud, Y. C. (1998). Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP) – A global river channel network. *Earth Interactions*, 2, 1–37.
- Oouchi, K., Yoshimura, J., Yoshimura, H., Mizuta, R., Kusunoki, S., y Noda, A. (2006). Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20 km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 84(2), 259-276.
- OpenAI. (2023). *OpenAI: We're building safe AI*. Recuperado de <https://openai.com> (Consulta realizada en fechas comprendidas entre el 25/03/2023 y el 7/4/2023).
- Pearson, R. G., y Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12(5), 361-371.

- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., ... y Lenoir, J. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), eaai9214.
- Pereira, H.M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H., Scholes, R. J., ... y Wegmann, M. (2013). Essential Biodiversity Variables. *Science*, 339(6117), 277–278.
- Pérez-Hoyos, A., Udías, A., y Rembold, F. (2020). Integrating multiple land cover maps through a multi-criteria analysis to improve agricultural monitoring in Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102064.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., y Araújo, M. B. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press.
- Phillips, S. (s.f.). *Una Breve Guía Didáctica sobre MaxEnt (Versión 3.2.0)* [Guía didáctica]. Recuperado de https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Pollock, L. J., Rosauer, D. F., Thornhill, A. H., Kujala, H., Crisp, M. D., Miller, E. T., ... y Nipperess, D. A. (2020). Protecting biodiversity (in all its complexity): new models and methods. – *Trends in Ecology and Evolution*, 35, 1119–1128.
- Portugal (2000) Decreto-Lei n.º 215/2000. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Constitui a sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos Parques Sintra - Monte da Lua, S. A. (2 de setembro de 2000).
- Portugal (2012) Decreto-Lei n.º 205/2012. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Afetação dos Palácios Nacionais de Queluz e de Sintra (31 de agosto de 2012).
- Prodanov, C.C. y Freitas, E.C. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. (2ª Ed.). Novo Hamburgo: Feevale.
- PSML, Câmara Municipal de Sintra y AO SRS. (2017). Termos de Referência do Concurso Público de Concessão para a Elaboração do Projeto Ponte Verde de Queluz. *Diário da República, 2.a serie N° 27*, anuncio n.º 930/2017. (Lisboa). 1-12.
- PSML. (2014). *Relatório e Contas*, Parque de Sintra – Montes da Lua, Conselho de Administração, Sintra, Portugal. Recuperado de [http://www.utam.pt/publicacoes/Parques%20de%20Sintra%20-%20\(RC\)%20-%202014.pdf](http://www.utam.pt/publicacoes/Parques%20de%20Sintra%20-%20(RC)%20-%202014.pdf) (Consulta realizada el 28 de abril de 2017).

- PSML. (2016). *Relatório e Contas*, Parque de Sintra – Montes da Lua, Conselho de Administração, Sintra, Portugal. Recuperado de https://www.parquesdesintra.pt/media/sblizcc2/rc2016_final_200917.pdf (Consulta realizada el 28 de abril de 2017).
- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecological Letters*, 3(4), 349-361.
- Quintana, A. (2008). *Planteamiento del problema de investigación: Errores de la lectura superficial de libros de texto de metodología*. Revista IIPSI, 11(1), 239-253. ISSN Impresa: 1560-909X. ISSN Electrónica: 1609-7475.
- Radeloff, V. C., Williams, J. W., Bateman, B. L., Burke K. D., Carter, S. K., Childress, E. S., ... y Usinowicz J. (2015). The rise of novelty in ecosystems. *Ecological Applications*, 25(8), 2051–2068
- Rao, S., Klimont, Z., Smith, S. J., Van Dingenen, R., Dentener, F., Bouwman, L., ... y Rafaj, P. (2017). Future air pollution in the Shared Socio-economic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 346–358.
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., ... y Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168.
- Root, T. L., y Schneider, S. H. (1993). Can large-scale climatic models be linked with multiscale ecological studies? *Conservation Biology*, 7(2), 256-270.
- Rounsevell, M.D.A. y Metzger, M.J. (2010). Developing qualitative scenario storylines for environmental change assessment. *WIREs Climate Change*, 1(4), 606–619.
- Rumpf, S. B., Hülber, K., Klöner, G., Moser, D., Wessely, J., Willner, W., ... y Dullinger, S. (2017). Range dynamics of mountain plants decrease with elevation. In H. A. Mooney (Ed.), *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Stanford University.
- Sáez, L. (s.f.). *Salvia sclareoides*. CXL. LABIATAE. Recuperado de http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/12_140_15_Salvia.pdf (Consulta realizada el 23 de marzo de 2017).
- Salafsky, N., Salzer, D., Stattersfield, A. J., Hilton-Taylor, C., Neugarten, R., Butchart, S. H. M., ... y Wilkie, D. (2008). A standard lexicon for biodiversity conservation: Unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology*, 22(4), 897–911.
- Samir, K.C., y Lutz, W. (2017). The human core of the Shared Socioeconomic Pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Global Environmental Change*, 42, 181–192.
- Scaife, A. A., Spangehl, T., Fereday, D. R., Cubasch, U., Langematz, U., Akiyoshi, H., ... y Shepherd, T. G. (2012). *Climate change projections and stratosphere-troposphere interaction*. *Clim. Dynam.* 38, 2089–2097.

- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., y Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *J. Geophys. Res.*, 118, 2473–2493.
- Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian Niches and Geographic Distributions of Species. *Ecology Letters*, 10, 1115-1123.
- Soberón, J. y Peterson, A.T. (2005). 'Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Steffen, W., Crutzen, P. J., y McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614–621.
- Steffen, W., Crutzen, P. J., y McNeill, J. R. (2011). The anthropocene: from global change to planetary stewardship. – *Ambio*, 40, 739–761.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... y Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Takata, K., Emori, S., y Watanabe, T. (2003). Development of the Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and RunOff (MATSIRO). *Global Planet. Change*, 38, 209–222.
- Tatebe, H., Ogura, T., Nitta, T., Komuro, Y., Ogochi, K., Takemura, T., ... y Deushi, M. (2019). Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. *Geoscientific Model Development*, 12, 2727–2765.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., y Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experimental design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485–498.
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., ... y Ziehn, T. (2021). Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*, 12, 253–293.
- Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., y Duffy, P. B. (2022). NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. *Scientific Data*, 9, 262. - (2012). Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3309-3314.
- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., y Nemani, R. (2021). *NEX-GDDP-CMIP6*. NASA Center for Climate Simulation. Recuperado de *TECH NOTE* <https://doi.org/10.7917/OFSG3345> (Consulta realizada el 4 de enero de 2023).
- Thuiller, W., Araújo, M. B., Lavorel, S., y Kenkel, N. (2003). Generalized models vs. classification tree analysis: Predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*, 14(5), 669-680.
- Thuiller, W., Brotons, L., Araújo, M. B., Lavorel, S., y Münkemüller, T. (2004). Do we need land-cover data to model species distributions in Europe? – *Journal of Biogeography*, 31, 353–361.

- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., y Araújo, M. B. (2009). BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.
- Thuiller, W., M. Guéguen, J. Renaud, D. N. Karger, y N. E. Zimmermann (2019). Uncertainty in Ensembles of Global Biodiversity Scenarios. *Nature Communications* 10: 1446.
- Tsendbazar, N. E., Herold, M., de Bruin, S., Lesiv, M., Fritz, S., Van De Kerchove, R., ... y Pekel, J. F. (2018). Developing and applying a multi-purpose land cover validation dataset for Africa. *Remote Sensing of Environment*, 219, 298-309.
- UC Berkeley. (s.f.). *WorldClim BIO Variables V1*. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/WORLDCLIM_V1_BIO (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Urban, M. C., Bocedi, G., Hendry, A. P., Mihoub, J.-B., Pe'er, G., Singer, A., y Travis, J. M. J. (2016). Improving the forecast for biodiversity under climate change. *Science*, 353, aad8466.
- USGS y CHC (2015). *CHIRPS Pentad: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final)*. Recuperado de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_PENTAD (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Vitousek, P. M. (1994). Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, 75(7), 1861-1876.
- Werner, M. (2001). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Mission overview. *Journal of Telecommunications*, 55, 75–79.
- White, J. (2021). *Course: Google Earth Engine for Ecology and Conservation. Practical 6: Species Distribution Modeling SDM*. Recuperado de <https://biomath-lab.github.io> (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Whitman, R.T., Park, M.B., Ambrose, S.M., Hoel, E.G. (2014). Spatial indexing and analytics on Hadoop. *Proc. 22 ACM SIGSPATIAL*, 2, 73-82.
- Whittaker, R. J., Willis, K. J., y Field, R. (2001). Scale and species richness: Towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, 28(4), 453-470.
- Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A., y Snyder, M. A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 19729–19736.
- Wiens, J. A., y Bachelet, D. (2010). Matching the multiple scales of conservation with the multiple scales of climate change. *Conservation Biology*, 24(1), 51-62.
- Wijk, M. T. van, y Bouten, W. (1999). Water and carbon fluxes above European coniferous forest modelled with artificial neural networks. *Ecological Modelling*, 120(2-3), 181-197.
- Willmott, C. J. y Matsuura, K. (1995) *Smart interpolation* of annually averaged air temperature in the United States. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2577–2586.
- Willmott, C. J. y Robeson, S. M. (1995). Climatologically Aided Interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *International Journal of Climatology*, 15, 221–229.

- Wood, A. W., Leung, L. R., Sridhar, V., y Lettenmaier, D. P. (2004). Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 62, 189–216.
- Wood, A. W., Maurer, E. P., Kumar, A., y Lettenmaier, D. P. (2002). Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 107.
- Woodcock, C. E., Allen, A. A., Anderson, M., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., ... y Wynne, R. (2008). Free access to Landsat imagery. *Science*, 320(5879), 1011.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, ... y Watson, R. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. – *Science* 314: 787–790.
- Wu, Q. (2020). *Earth Engine Tutorial #33: Performing Accuracy Assessment for Image Classification*. Recuperado de <https://blog.gishub.org/earth-engine-tutorial-33-performing-accuracy-assessment-for-image-classification> (Consulta realizada el 4 de enero de 2023).
- Xu, Y., Yu, L., Feng, D., Peng, D., Li, C., Huang, X., ... y Gong, P. (2019). Comparisons of three recent moderate resolution African land cover datasets: CGLS-LC100, ESA-S2-LC20, and FROM-GLC-Africa30. *International Journal of Remote Sensing*, 40, 6185-6202.
- Yin, R.K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. – 4th ed.
- Yu, J., Wu, J., y Sarwat, M. (2015). Geospark: A Cluster Computing Framework for Processing Large-Scale Spatial Data. *Proc. 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems* (p. 70). ACM.
- Zappa, G., Shaffrey, L. C., Hodges, K. I., Sansom, P. G., y Stephenson, D. B. (2013). A multi-model assessment of future projections of North Atlantic and European extratropical cyclones in the CMIP5 climate models. *Journal of Climate*, 26(15), 5846–5862.
- Zhang, X., Zwiers, F. W., Hegerl, G. C., Lambert, F. H., Gillett, N. P., Solomon, ... y Nozawa, T. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, 448, 461–464.
- Zhu, B. R. (10 de julio de 2023). Entrevista de los modelos de distribución de especies de la presente investigación (entrevista por el autor). [Entrevista personal].
- Zhu, B. R., Ma, Z. J., Hua, N., Cao, L. X., Chen, J. K., Chen, Y., ... y Zhao, Q. (2022). Current breeding distributions and predicted range shifts under climate change in two subspecies of Black-tailed Godwits in Asia. *Global Change Biology*, 28, 5416–5426.
- Zurell, D. (2017). Integrating demography, dispersal, and interspecific interactions into bird distribution models. *Journal of Avian Biology*, 48(12), 1505–1516.
- Zurell, D. (2020). *Course: Introduction to species distribution modelling (SDM) in R*. Recuperado de <https://damarizsurell.github.io/SDM-Intro> (Consulta realizada el 27 de abril de 2021).
- Zurell, D., Elith, J., y Schroeder, B. (2012). Predicting to New Environments: Tools for Visualising Model Behaviour and Impacts on Mapped Distributions. *Diversity and Distributions*, 18, 628–634.

endémica
arquitectura del paisaje

ANEXOS

Anexo I. Protocolo entre los Municipios de Sintra, Amadora e Oeiras e Parque de Sintra-Montes da Lua, S.A., relativo a la creación del EIXO VERDE E AZUL.



PROTOCOLO

entre
os Municípios de Sintra, Amadora e Oeiras e
a Parques de Sintra-Monte da Lua, S.A

relativo à criação do
EIXO VERDE E AZUL

O **Município de Sintra**, pessoa coletiva nº 500051062, com sede no Largo Dr. Virgílio Horta, 4 em Sintra, representado pelo Dr. Basílio Horta, Presidente da Câmara Municipal, adiante designado por PRIMEIRO OUTORGANTE ou MS;

O **Município da Amadora**, pessoa coletiva nº 505456010, com sede na Av. Movimento das Forças Armadas nº 1, Amadora, representado pela Dra. Carla Maria Nunes Tavares, Presidente da Câmara Municipal, adiante designado por SEGUNDO OUTORGANTE ou MA;

O **Município de Oeiras**, pessoa coletiva nº 500745943, com sede no Largo Marquês de Pombal, em Oeiras, representado pelo Dr. Paulo César Sanches Casinhas da Silva Vistas, Presidente da Câmara Municipal, adiante designado por TERCEIRO OUTORGANTE ou MO;

e

A **Parques de Sintra-Monte da LUA, S.A.**, pessoa coletiva n.º 505174839, representada pelo Dr. Manuel Baptista, Presidente do Conselho de Administração, com poderes de representação para outorga do presente Protocolo, adiante designada por QUARTA OUTORGANTE ou PSML;

Considerando,

- A importância do rio Jamor e dos seus afluentes, enquanto curso de água e que percorre os concelhos de Sintra, Amadora e Oeiras;
- O eixo ecológico do rio Jamor estabelecido nos instrumentos de gestão territorial em vigor e noutros instrumentos de política urbana como áreas de reabilitação urbana, reforçando a ligação com o Parque Florestal da Carregueira;
- O risco de cheias do rio Jamor e da ribeira de Carenque, agravado pelas alterações climáticas, com perigo para as populações e para o património cultural;
- A necessidade de alterar o estado de degradação em que atualmente se encontram as infraestruturas e o espaço público da zona envolvente do rio Jamor e da ribeira de Carenque;



- A necessidade de melhorar o acesso da população à fruição das áreas verdes e de melhorar a sua conservação;
- A necessidade de promover circuitos de mobilidade sustentável ao longo da tipologia, entre Carregueira e Caxias, permitindo o acesso à estação dos Caminhos-de-Ferro de Queluz, ao Palácio Nacional de Queluz e ao Parque da Matinha, bem como o acesso ao litoral do concelho de Oeiras;
- A necessidade de valorização ecológica, paisagística e funcional da área envolvente do Palácio Nacional de Queluz;
- A oportunidade de uma intervenção integrada assente na regularização do rio Jamor, enquanto base de um Projeto de criação de áreas verdes, requalificação do espaço urbano e do estabelecimento de um circuito de mobilidade suave;
- A importância deste projeto para a realização das atribuições da Parques de Sintra-Monte da Lua relativas e a salvaguarda e valorização do Palácio Nacional de Queluz, assegurando a indispensável proteção dos canais e jardins do palácio, melhorando a qualidade paisagística e o usufruição do espaço, promovendo o acesso ciclável autónomo a partir do comboio e potenciando, desse modo, o aumento de visitas quer por parte dos residentes, quer pelos turistas, a todo o património natural e cultural dos vários concelhos, com benefícios para a economia local;
- Ter sido afeta à Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A., pelo Decreto-Lei n.º 205/2012, de 31 de agosto, a exploração do Palácio Nacional de Queluz, a fim de que assegure a salvaguarda e valorização desse monumento nacional;
- O empenho dos municípios na articulação de intervenções tendo em vista este objetivo comum de melhoria da qualidade de vida das populações associado à desejável dinamização das atividades económicas de turismo e lazer.

É celebrado e reciprocamente aceite o presente protocolo de colaboração que se regerá pelos termos e condições das cláusulas seguintes:

Cláusula primeira

Objeto

1. O projeto do Eixo Verde e Azul, adiante designado por “Projeto”, estabelece uma estratégia integrada de intervenção destinada a criar e consolidar um eixo ecológico ao longo do Rio Jamor, assente na regularização do rio e defesa contra inundações, bem como assegurar a qualidade das massas de água, procedendo ainda à requalificação do espaço público envolvente, melhorando o acesso das populações à natureza e ao património histórico-cultural e criando um circuito de mobilidade suave através dos concelhos de Sintra, Amadora e Oeiras.
2. O Eixo Verde e Azul articula-se, a montante, com o Parque Florestal da Carregueira, atualmente em execução, permitindo uma intervenção integrada em toda a extensão deste curso de água e em parte significativa da respetiva rede hidrográfica.



Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large 'R' and several other marks.

3. O Projeto compreende projetos específicos, integrando ações relativas a diversas tipologias de intervenção, a concretizar e executar no âmbito de operações municipais a promover pelas primeiro, segundo e terceiro outorgantes nos respetivos concelhos nos termos previstos na lei e no programa geral de concretização do Projeto, adiante designado por "Programa Geral".

Cláusula segunda

Objetivos

O projeto de Eixo Verde e Azul visa alcançar os seguintes objetivos:

- a) Promover a renaturalização e melhoria da qualidade das massas de água do rio Jamor e seus afluentes;
- b) Assegurar o controlo dos caudais, prevenindo os efeitos das alterações climáticas e promovendo a segurança de pessoas e bens nas áreas atualmente sujeitas ao risco de inundação;
- c) Proteger, em especial, o património cultural único dos canais e jardins do Palácio Nacional de Queluz;
- d) Proceder à requalificação do espaço público ao longo do rio Jamor e da ribeira de Carenque;
- e) Dignificar e valorizar o Palácio Nacional de Queluz, através da requalificação do espaço urbano público envolvente e da sua proteção dos efeitos negativos do tráfego rodoviário;
- f) Melhorar e aumentar a afluência de visitantes ao Palácio Nacional de Queluz e o acesso e a fruição do património natural e cultural e por parte das populações, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das populações, a coesão social e a promoção da economia local;
- g) Favorecer a mobilidade suave entre Queluz e Caxias e nos acessos das áreas urbanas ao transporte ferroviário e às áreas de natureza, cultura e de lazer, contribuindo para o combate às alterações climáticas.

Cláusula terceira

Comissão conjunta

O desenvolvimento do Projeto e o acompanhamento da sua execução são assegurados por uma Comissão Conjunta constituída por representantes das entidades outorgantes.



Cláusula quarta Execução

Os termos de execução do Projeto e o respetivo faseamento são definidos no Programa Geral e no âmbito das operações municipais referidas no n.º 3 da cláusula primeira.

Cláusula quinta Financiamento

1. O financiamento da execução do Projeto é assegurado através das fontes de financiamento a prever no Programa Geral.
2. Enquanto contrapartida pela satisfação dos requisitos e objetivos específicos da sua atividade relacionados com a salvaguarda e valorização do Palácio Nacional de Queluz, a QUARTA OUTORGANTE comparticipa nos custos da execução do Projeto, incluindo os custos de elaboração dos projetos de execução, nas percentagens e com os limites definidos no Programa Geral.
3. A repartição dos custos de execução é definida no Programa Geral e nos contratos de execução das operações municipais referidas no n.º 3 da cláusula primeira.

Cláusula sexta Desenvolvimento

1. O Programa Geral previsto nas cláusulas anteriores deve ser apresentado pela QUARTA OUTORGANTE ao PRIMEIRO, SEGUNDO e TERCEIRO OUTORGANTES, no prazo de 30 (trinta) dias da outorga do presente protocolo, para apreciação e aprovação conjunta.
2. Dentro dos prazos estabelecidos no Programa Geral, são elaborados:
 - a) Os projetos específicos de execução;
 - b) Os programas estratégicos das operações municipais, a promover pelos PRIMEIRO, SEGUNDO e TERCEIRO OUTORGANTES, no âmbito dos respetivos concelhos;
 - c) Os contratos de execução das operações municipais, entre os respetivos promotores e a QUARTA OUTORGANTE.

Cláusula sétima Vigência

O presente Protocolo entra em vigor na data da sua assinatura e vigora até à completa realização dos efeitos neles previstos.

Cláusula oitava Acordo sobre o Programa Geral

A ausência de acordo de todos os outorgantes quanto ao Programa Geral, previsto no presente Protocolo, implica a sua resolução sem formalidades, nem direito a indemnização, decorrente da sua assinatura.



Cláusula nona

Disposições finais

As partes podem acordar, a todo o tempo, por unanimidade, alterações ao presente protocolo, as quais serão formalizadas por documento escrito que constituirá aditamento ao presente protocolo e que dele passa a fazer parte integrante.

Assinado em Queluz, a 14 de julho de 2016.

O Município de
Sintra,

O Município da
Amadora

O Município de
Oeiras

A Parques de Sintra-
Monte da Lua, S.A.,

(Dr. Basílio Horta)

(Dra. Carla Tavares)

(Dr. Paulo Vistas)

(Dr. Manuel Baptista)

Anexo II. Programa Preliminar del *Concurso Público de Concepción Elaboração do Projeto PVQ* (n°930/2017 Portugal) lanzado por PSML, *Câmara Municipal de Sintra*, y la AOSRS

**CONCURSO PÚBLICO DE CONCEÇÃO PARA A ELABORAÇÃO DO PROJETO
PONTE VERDE DE QUELUZ**

PROGRAMA PRELIMINAR



ÍNDICE

1. Introdução.....	2
2. Enquadramento histórico	3
3. Localização e características da área de intervenção	10
3.1. Limites da área de intervenção.....	10
3.2. Enquadramento urbanístico.....	11
4. Objetivos da intervenção.....	11
4.1. Objetivos gerais da intervenção.....	11
4.2. Objetivos específicos da intervenção	12
5. Instrumentos de Gestão Territorial e Reabilitação Urbana.....	14
5.1 PDM em vigor	14
5.2 ARU Queluz-Belas	14
6. Custo de obra.....	15
7. Anexos ao Programa Preliminar	15

1. Introdução

Nos termos do n.º 1 do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 205/2012, de 31 de agosto, foi afeta à Parques de Sintra - Monte da Lua, S.A., (PSML) a exploração do Palácio Nacional de Queluz. A PSML ficou, assim, incumbida de promover a recuperação, requalificação e revitalização, gestão, exploração do Palácio Nacional de Queluz, incluindo os parques e demais zonas envolventes, nos termos do n.º 1 do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 215/2000, de 2 de setembro, com a redação introduzida pelo Decreto-Lei n.º 205/2012, de 31 de agosto.

Ao receber este património a PSML verificou que, além da reabilitação e manutenção do Palácio e dos seus jardins históricos, é necessário enfrentar um conjunto de constrangimentos que tem afetado este património de grande relevância nacional.

Com efeito, ao nível da sua vizinhança imediata, o Palácio encontra-se exposto a uma série de riscos: por um lado, os riscos decorrentes do atravessamento pelo rio Jamor e pela ribeira das Forçadas, e pela confluência com ribeira de Carenque, causando cheias que ciclicamente destroem o valioso património existente nos jardins, estufas e no canal de azulejos (e que já levaram, no passado, a perda de vida humana); por outro lado, o impacto causado pela proximidade de grandes eixos rodoviários, em particular, do IC19, que não só expõe o Palácio e Jardins a ruído excessivo, trepidações e à poluição atmosférica, tendo igualmente isolado o palácio no meio de uma rede de estradas, cortando a ligação histórica à Matinha de Queluz, que integra o mesmo conjunto patrimonial; por último, o crescente grau de urbanização da envolvente do Palácio que, para além de constituir a causa indireta dos efeitos acima descritos, desenvolveu-se em desarticulação com o património cultura e natural, danificando a relação histórica entre o Palácio e a área envolvente e desqualificando um espaço público de qualidade excecional, que poderia aproveitado pelas populações enquanto património vivo.

Acresce a necessidade de dotar de condições de segurança das deslocações pedonais que hoje se verificam quotidianamente no limite poente do Outeiro das Forçadas. Importa qualificar as ligações entre os aglomerados urbanos, então interrompidas pela construção e alargamento do IC19.

Assim, a PSML desenvolveu o Programa Estratégico de Salvaguarda e Valorização do Palácio Nacional de Queluz e sua Zona envolvente. O objetivo deste programa estratégico (ver Anexo I.1) é garantir que a reabilitação do Palácio envolve a regeneração urbana de toda a sua zona envolvente, garantindo uma maior proteção e valorização do Palácio, e, mais importante promover a melhoria da qualidade de vida dos habitantes.

Na concretização deste programa estratégico, foi proposto integrar um conjunto de ações que reabilitem a área da bacia hidrográfica do rio Jamor. Estas ideias encontraram eco junto das

Câmaras Municipais de Sintra, Amadora e Oeiras, indo ao encontro de projetos já em desenvolvimento naquelas câmaras municipais.

Assim, a 14 de julho de 2016, foi assinado, entre as câmaras municipais de Sintra, Oeiras e Amadora e a Parques de Sintra - Monte da Lua, S.A., o protocolo relativo à criação do «Eixo Verde e Azul» (ver Anexo I.6).

O «Eixo Verde e Azul» estabelece uma estratégia integrada de intervenção que alia a regeneração do Palácio Nacional de Queluz à sua envolvente, devolvendo ao Palácio a capacidade de polo gerador de desenvolvimento da região, quer através da regeneração da zona envolvente, quer através de um eixo ecológico ao longo do rio Jamor.

O projeto de «Eixo Verde e Azul» compreende três grandes fases de projeto (projetos específicos):

- A. Renaturalização e requalificação do espaço envolvente do rio Jamor e seus afluentes;
- B. Requalificação da zona envolvente ao Palácio Nacional de Queluz;
- C. Constituição de um parque florestal adjacente ao Palácio Nacional de Queluz.

Encontrando-se em curso a elaboração do projeto específico A (Renaturalização e requalificação do espaço envolvente do rio Jamor e seus afluentes), torna-se, agora, necessário proceder ao desenvolvimento do projeto específico B (Reabilitação da zona envolvente ao Palácio Nacional de Queluz), que é concretizado por um conjunto de projetos de desenvolvimento, prosseguindo os seguintes objetivos gerais:

- I. Criação de um conjunto de espaços verdes de recreio e lazer na área envolvente do Palácio, reconstituindo a memória das quintas e espaços de produção agrícola que envolviam e asseguravam o abastecimento do Palácio;
- II. Requalificação do largo do terreiro e do sistema de aquedutos do Palácio, melhorando a funcionalidade e reconstituindo a memória desse espaço monumental e da sua estrutura hídrica;
- III. Proteção do Palácio contra o impacto do IC19, procurando restaurar a qualidade ambiental dos jardins históricos e do Palácio, bem como a proteção dos elementos construídos contra as vibrações provenientes do IC19;
- IV. A reconstituição da ligação histórica do Palácio à Matinha de Queluz, no sentido de proporcionar uma via de atravessamento privilegiado do IC19 e a valorização deste património classificado e da área junto à ribeira de Carenque.

2. Enquadramento histórico

Em 1747 D. Pedro III, consorte de D. Maria I, ordenou a construção do Palácio Nacional de Queluz, inicialmente concebido como residência de verão, tornando-se um espaço privilegiado

de lazer e entretenimento da família Real, que o habitou em permanência de 1794 até à partida para o Brasil, em 1807, na sequência das invasões francesas.



Fig.1 Monumento a D. Maria I

As primeiras campanhas de obras, iniciadas em 1747, estiveram a cargo do arquiteto da Casa do Infantado, Manuel Vicente de Oliveira. Correspondem à demolição do palácio velho dos Corte Real e ao início da construção do corpo central onde se situam as alas principais do atual edifício. Após o terramoto de Lisboa, em 1755, Jean Baptiste Robillion sucedeu-lhe à frente das obras em Queluz, concluindo-se o palácio, o pavilhão Robillion e os jardins.

Entre 1752 e 1772 concluem-se igualmente as obras de adução de água à Quinta de Queluz canalizada através de dois aquedutos com troços subterrâneos e aéreos que aproveitam os lençóis freáticos dos arredores, designadamente, na zona de Monte Abraão, Pendão, Carenque e Gargantada. Trata-se do Aqueduto de Pendão e do Aqueduto da Gargantada que atravessa o burgo de Queluz. As águas, assim canalizadas alimentavam o tanque do Miradouro, seguindo por cano subterrâneo para o paço.

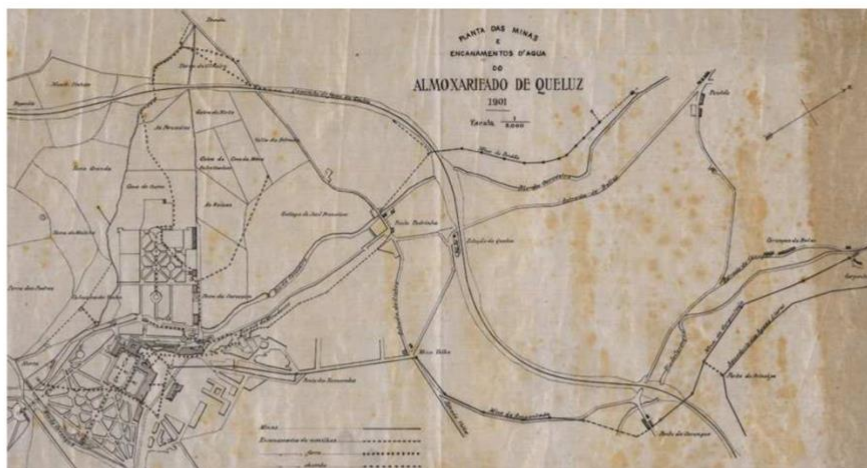


Fig.2 Planta dos encanamentos e aquedutos de Pendão e da Gargantada, ANTT, 1902

No corpo fronteiro, que ficou inacabado, apenas foram edificadas algumas dependências, como é o caso dos edifícios anexos, destinados à guarda real, à casa da administração, às reais cavalariações e à Torre do Relógio (Pousada D. Maria I). Esta foi uma das últimas fases de obras do Palácio de Queluz, já durante o reinado de D. Maria I, cujo projeto é atribuído a Manuel Caetano de Sousa (1742-1802), que também projetou o Pavilhão de D. Maria I (no lugar do antigo teatro de Queluz).

Originalmente projetado de forma simétrica e em redor de uma grande praça, o plano inicial de ampliação do Palácio de Queluz, conferia uma escala de grandeza e ambição ao projeto real. A entrada fazia-se a partir de um arco triunfal, acentuando a monumentalidade do largo e do palácio.

Esta aspiração de D. Pedro II não logrou sair do papel, ficando o terreiro do palácio inacabado e sem a escala espacial de simetria inicialmente projetada. Para melhor a compreensão das relações espaciais entre as diversas partes do Paço Real de Queluz e dos jardins, bem como do antigo terreiro e envolvente, apresenta-se o projeto original setecentista (desenho aquarelado, ca. 1760, Biblioteca Nacional de Rio de Janeiro) sobreposto ao ortofotomapa do Palácio Nacional de Queluz na imagem abaixo. A composição Barroca e o desenho em estrela, à semelhança de outros exemplos europeus, enfatiza a centralidade e a hierarquia dos elementos que o constituem.



Fig.3 Sobreposição do ortofotomapa de 1975 com a Planta do Palácio Nacional de Queluz

À sua época, a construção do Palácio criou um novo núcleo territorial que ao longo dos anos foi caracterizando o espaço em redor, nomeadamente, através de funções agrícolas complementares ou mesmo com a construção de um quarteirão ou bairro para habitação dos trabalhadores do palácio. Este polo urbano, configurador do território adjacente, foi perdendo a sua conformidade com a mudança da capital do reino para o Brasil, em 1807.

A Família Real viria a ocupar novamente o Palácio de Queluz no regresso do Brasil, cerca de 1820, havendo notícia de grandes campanhas de obras no final do séc. XIX, durante o reinado de D. Carlos I.

O Paço de Queluz passou a integrar o património do estado português, por doação do rei D. Manuel II, em 1908, recebendo a qualificação de monumento nacional em 1910.

A 4 de outubro de 1934 foi parcialmente destruído por um incêndio. Abriu ao público em 1940, depois de grandes obras de recuperação levadas a cabo pela Direção dos Edifícios e

Monumentos Nacionais que culminaram com a supressão do piso superior do palácio, à exceção no corpo central do Claustro.



Fig.4 Desenho aguarelado das fachadas de Queluz ainda com o 1º piso, ANTT, 1826

A vocação histórica e interpretação do lugar

O séc. XVIII em Portugal caracteriza-se por uma situação de estabilidade e grande poderio económico, devido ao ouro e pedras preciosas provenientes do Brasil. D. João V (1669-1750), pai de D. Pedro III, o encomendante do palácio de Queluz, promove a arte portuguesa e as obras mais marcantes deste período são o Convento de Mafra e o Aqueduto das Águas Livres, em Lisboa. Estas construções constituem uma espécie de escola e estaleiro prático onde trabalharam alguns dos protagonistas do urbanismo setecentista: Manuel da Maia, Reinaldo Manuel dos Santos, Carlos Mardel e Manuel Vicente de Oliveira, o primeiro arquiteto de Queluz.

A conceção do espaço urbano e paisagístico de Queluz estrutura-se também ele em pleno período Barroco – Rocóco e de acordo com princípios fundamentais que se aplicavam às artes - **a ordem, a clareza, a proporção e a simetria** – expressão e instrumento do poder e da ordem monárquica. Esta estética de formalidade aplica-se tanto à arquitetura como à construção da paisagem, privilegiando os seguintes valores:

- a **perspetiva** como elemento primordial na conceção espacial. Nesta época é dotada de maior liberdade, movimento e grandiloquência de escala e baseia-se num conjunto de eixos divergentes e convergentes, que representam um ponto de vista simultaneamente unívoco e abrangente;
- a **geometria** do desenho que promove a visão ordenada e a proporção espacial com base na composição arquitetónica (simetria, ritmo, dominância de massas compactas, imponentia e solidez das obras);

- a **simetria** que se relativiza, exigindo-se absolutamente na composição, mas não necessariamente nos detalhes;

O Barroco desenvolve-se, assim, como um movimento artístico particular, de Arte Total, em que a diversidade de opções se constitui como uma das suas características marcantes. A estética do Barroco é capaz de relacionar a geometria com as artes decorativas, o espaço interior com o exterior, a cidade com o objeto arquitetónico, desde que o carácter dinâmico das manifestações artísticas provoquem emoção no espectador e apelem aos sentidos.

Por consequência, a paisagem é concebida como uma construção humana, a natureza é dominada pela topiária, adquirindo um valor artificial e cênico. A arquitetura urbana é exuberante e retórica, de escala monumental. Entre as principais características que definem a estética do Barroco Rococó que se aplicam à conceção do Paço de Queluz, resumem-se as seguintes:

- A **praça** é entendida como um recinto ou lugar especial, é o lugar público, onde se concentram os principais edifícios e monumentos. Adquire valor funcional e político-social. Reveste-se também do máximo valor simbólico e artístico, sendo palco de vários tipos de espetáculo público como se se tratasse de um palco onde se desenrolam espetáculos de diversão, de fantasia, de artifício, de exaltação e de poder; As festividades incluíam touradas, jogos, teatro, espetáculos de música, procissões, celebração de batizados e casamentos reais, lançamento de balões aerostáticos e fogo-de-artifício, entre outras manifestações;
- O **edifício** no singular, com significado social, político ou religioso, adquire individualidade, torna-se uma peça do sistema urbano e autonomiza-se;
- O **monumento** passa assim a ser gerador do próprio espaço urbano, sem o qual perderia parte da sua razão de ser;
- A **fachada** é um elemento que garante a ordem visual no espaço urbano através da simetria, proporção e ritmo. Neste contexto o desenho urbano prolonga-se pelo desenho das fachadas na mesma medida em que as fachadas dos edifícios se autonomizam como elemento do espaço urbano, através da sua volumetria e traçado;
- A **rua** mantém a função de acesso aos edifícios, mas irá assumir-se principalmente como eixo de perspetiva, traço de união e de valorização entre elementos urbanos. Deixa de ser apenas um percurso funcional, para se tornar um elemento visual, decorativo e de aparato;
- O **quarteirão** e o bairro vão assumir formas, dimensões e volumes diferentes, consoante o seu posicionamento na estrutura urbana. Passam a ter uma estrutura reticulada, delimitada por vias que se subdivide em lotes e edificações;

- A **paisagem** assume um valor e importância nunca atingido até então. É no período barroco que a Arte da Jardinagem se define como um campo específico de arquitetura da paisagem e de organização territorial. O sistema constituído por traçados retilíneos, eixos de perspetiva, praças, monumentos e zonas arborizadas, apresenta uma grande coerência visual e orgânica; O gosto pelo passeio e a deferência pela paisagem ganharam contornos especiais na segunda metade do século XVIII, tanto na literatura, como na arte em geral.
- A **Arte da Jardinagem** é elevada a Ordem de Arquitetura Campestre.
- A **natureza** é dominada e submetida à lógica da geometria, da decoração ou dos elementos simbólicos através da arte da topiária. A composição da paisagem e dos jardins adapta-se ao terreno, concilia-se com a topografia e morfologia do lugar, corrigindo os desníveis e diferentes cotas para resolver os eixos de perspetiva. O homem domina também as linhas de água através da construção de monumentais aquedutos, lagos, tanques, fontes ou cascatas, funcionando tudo como pretexto para uma dinâmica de carácter cenográfico.
- Os **jardins** constituem-se como espaços privilegiados entre a arquitetura e o exterior, numa inter-relação erudita e muitas vezes simbólica com a Arte e a Natureza. A sua organização considera uma compartimentação e hierarquização espacial, aproveitando as características orgânicas do mundo natural e ao mesmo tempo procurando uma dinâmica teatral e cenográfica. São locais de entretenimento e festa, por excelência.
- A **topiária** é eleita como Arte. De acordo com o étimo latino *topiarius*, era “a arte de adornar os jardins”. Utiliza técnicas específicas para talhar, podar e confinar as árvores e os arbustos a formas simples ou elaboradas, apresentando uma natureza disciplinada e adicionando rigor na organização geométrica dos espaços verdes.

Zona Especial de Proteção (ZEP)

A implementação da Zona Especial de Proteção (ZEP) do Palácio Nacional de Queluz, nas suas três versões: de 1948, 1961 e 1968, aliada ao facto da maior parte dos terrenos envolventes se encontrarem na posse do Estado, permitiu, de alguma forma, conter a grande pressão urbanística verificada nos últimos cinquenta anos.

A sua história, desde então, viu a perda de relevância territorial que tornou o Palácio e seus Jardins encerrados sobre si mesmos. Acresce, que os grandes eixos rodoviários, em particular, o traçado e posterior alargamento do IC19, contribuíram fortemente para descaracterizar e fragmentar todo o território envolvente.

3. Localização e características da área de intervenção

3.1. Limites da área de intervenção

O âmbito espacial do projeto novo atravessamento pedonal e ciclável sobre a IC19 e jardins adjacentes é definido pelos seguintes limites, de acordo com figura infra, abrangendo os troços de espaço público referidos:

Norte: prolongamento do parque urbano Felício Loureiro;

Nascente: saída IC19 para a Eng.º Duarte Pacheco;

Sul: Limite entrada da Matinha seguindo pela estrada da Rainha até ao atravessamento da IC19 pela N117;

Poente: N117.



Fig. 5 – Limites da área de intervenção

3.2. Enquadramento urbanístico

Este território sofreu uma forte concentração urbana, principalmente a partir da eletrificação da linha de caminho-de-ferro, observando-se que a densidade da cidade de Queluz era, em 2011, de 1.978 habitantes/km², superior à média do Município de Sintra que era, na mesma data, de 1.183,7 habitantes/km².

No parque edificado a função habitacional é a predominante, uma vez que 86,16% dos edifícios são exclusivamente residenciais. Tendo por referência a época de construção dos edifícios, destaca-se o facto de este ser um tecido urbano caracterizado maioritariamente (66,14%) por edifícios construídos até 1980, tendo, portanto, mais de 30 anos. Somente 4,58% dos edifícios existentes na cidade de Queluz foram construídos antes de 1919.

A IC19 ao longo dos anos foi ganhando dimensão e cortando abruptamente os territórios, nomeadamente em Queluz. O elevado tráfego e a dimensão das estruturas associadas limitou de forma determinante as deslocações pedonais das populações residentes.

4. Objetivos da intervenção

4.1. Objetivos gerais da intervenção

A intervenção deverá considerar a estratégia do projeto do Eixo Verde e Azul que tem como objetivo criar e consolidar um eixo ecológico ao longo do Rio Jamor (ver Anexo I.6).

a) Integração paisagística

No domínio da integração paisagística, pretende-se valorizar um espaço verde contínuo promovendo:

- A criação de eixos visuais entre os espaços a projetar e o Palácio com os seus jardins;
- A protecção do impacto do tráfego rodoviário, constituindo uma barreira acústica verde, entre o limite do Palácio e o IC19;
- Um novo jardim público no Outeiro da Forçadas, oferecendo às populações residentes um espaço de permanência e manutenção com arborização adaptada às condições edafoclimáticas locais;
- Espaços de estadia e contemplação;
- A arborização das áreas de terrenos sobrantes no nó rodoviário do IC19 com a N117;
- A articulação entre a inovação e a identidade patrimonial do espaço.

b) Mobilidade

No domínio da Mobilidade, pretende-se promover a união dos territórios cortados pela IC19 e criar percursos pedonais circulares ao Palácio, valorizadores de toda a região, nomeadamente:

- Rede de percursos pedonais contínua;
- Assegurar a circulação em percursos dedicados para mobilidade suave, entre as zonas do largo do terreiro, Matinha e Outeiro das Forçadas, bem como entre Matinha, Queluz de Baixo e Monte Abraão;
- Promover a segurança e a qualidade ambiental dos espaços de circulação;
- Reabilitação da atual travessia do IC19 entre Palácio de Queluz e o Bairro dos Afonsos;
- Garantir segurança à circulação pedonal em condições nocturnas e outras de desconforto urbano;
- Valorizar a azinhaga entre o Muro do Palácio e a ribeira de Carenque;
- Criar um percurso contínuo em volta do muro do Palácio, ligando a azinhaga junto ao perímetro Sul do muro (paralelo ao IC19) e o Outeiro das Forçadas (localizado a poente do Palácio).

c) História e património cultural

No domínio da História e património cultural, pretende-se potenciar a interpretação do património cultural existente no espaço, de uma forma integrada, enriquecendo a experiência da população residente e dos visitantes do palácio:

- Recuperar a centralidade do Palácio;
- Estimular os laços de identidade da população com a localidade;
- Valorizar a relação histórica do palácio com a Matinha e as quintas adjacentes.

4.2. Objetivos específicos da intervenção

a) Ponte pedonal e ciclável sobre o IC19 entre os jardins do Palácio e a Matinha (ponte 1)

A ponte pedonal dever-se-á assumir enquanto contínuo verde entre os jardins do Palácio e a Matinha e obedecer aos seguintes requisitos:

- Cumprir as acessibilidades, nomeadamente o Decreto-Lei nº 163/2006 e o estabelecido no Eixo Verde e Azul (Anexo I.6);
- Assegurar circulação pedonal e ciclável com uma largura mínima de 2,5m, que poderá assumir um perfil de via partilhada entre os peões e os velocípedes ou de ciclovia discriminada da circulação pedonal, de acordo com a proposta do concorrente;
- Localizar os pontos de acesso à ponte nas áreas delimitadas na planta com delimitação da área de intervenção (Anexo I.2);
- Prever iluminação pública;
- A estrutura da ponte não pode ter apoio central;
- A sua execução não poderá estar sujeita ao condicionamento de tráfego;
- Em fase de concurso não se prevê a apresentação de concepção de fundações.

b) Ponte pedonal e ciclável sobre o IC19 junto à N117 (ponte 2)

Deverá ser previsto um novo atravessamento pedonal e ciclável sobre o IC19 junto à N117, com o objectivo de ligar as paragens de autocarros em Queluz de Baixo, à estação de caminhos-de-ferro de Monte Abraão, passando pelo Outeiro das Forcadas. Para a sua materialização dever-se-á ter em conta os seguintes requisitos:

- Cumprir as acessibilidades, nomeadamente o Decreto-Lei nº 163/2006 e o estabelecido no Eixo Verde e Azul (Anexo I.6);
- Assegurar circulação pedonal e ciclável com uma largura mínima de 2,5m, que poderá assumir um perfil de via partilhada entre os peões e os velocípedes ou de ciclovia discriminada da circulação pedonal, de acordo com a proposta do concorrente;
- Prever iluminação pública;
- A estrutura da ponte não pode ter apoio central;
- A sua execução não poderá estar sujeita ao condicionamento de tráfego;
- Em fase de concurso não se prevê a apresentação de concepção de fundações.



Fig. 6 – Localização das pontes de circulação pedonal e ciclável a prever

5. Instrumentos de Gestão Territorial e Reabilitação Urbana

No desenvolvimento da proposta deverão ser tidos em conta pelos concorrentes nomeadamente os seguintes instrumentos:

5.1 PDM em vigor

Plano Diretor Municipal de Sintra (PDMS), ratificado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 116/99, de 16 de setembro (publicada no DR, 1.ª série-B, de 4 de outubro de 1999), e objeto de alteração regulamentar pela deliberação da Assembleia Municipal de Sintra de 21 de setembro de 2015 (publicada no DR, 2.ª série, n.º 9, de 14 de janeiro de 2016).

5.2 ARU Queluz-Belas

Na área do concelho de Sintra, o Eixo Verde e Azul do Rio Jamor coincide com a área de reabilitação urbana Belas/Queluz, delimitada, sob proposta da Câmara Municipal, por deliberação da Assembleia Municipal de 24 de março de 2015 (Aviso n.º 4357/2015, publicado em Diário da República, 2ª série, n.º 78, de 22 de abril de 2015) e alterada por deliberação Assembleia Municipal de Sintra de 5 de julho de 2016 (Aviso n.º 10028/2016, publicado em Diário da República, 2ª série, n.º 155, de 12 de agosto de 2016), incluindo os principais eixos de ligação aos centros de Queluz e de Belas, estruturada pelo rio Jamor, e valorizando o património arquitetónico e arqueológico.

No que respeita à área do Largo do Terreiro do Palácio Nacional de Queluz, o Programa Estratégico da ARU Queluz Belas refere, no seu ponto 3.3.1 (EIXO ESTRATÉGICO 3 – VALORIZAÇÃO E REABILITAÇÃO DO ESPAÇO PÚBLICO - 3.3.1. REFORÇAR AS CENTRALIDADES URBANAS), o seguinte: "Projeto Urbano: Desenvolvimento em parceria com a Empresa Parques de Sintra – Monte da Lua de soluções para o espaço público adjacente ao Palácio de Queluz. Numa primeira aproximação, como possíveis soluções para o tratamento do espaço público desta área de Queluz, propõe-se a manutenção do amplo espaço em frente à fachada principal com tratamento e uniformização do pavimento (distinguindo-o apenas em termos de funções), a eliminação do estacionamento na entrada do palácio, o ordenamento do estacionamento no espaço em frente aos edifícios do Exército e a continuação das árvores de alinhamento nesta frente. Na via que atualmente apresenta sentido proibido propõe-se a alteração do pavimento para materiais adequados e confortáveis ao peão, promovendo a ligação pedonal e ciclável do espaço à Mata da Matinha através da implantação de uma ponte arborizada suficientemente ampla, assumindo um percurso entre o IC19 e o limite sul dos jardins do Palácio."

6. Custo de obra

As propostas apresentadas deverão adaptar-se às contingências económicas actuais, procurando aliar soluções de criatividade a soluções de custo racionalizado, tendo presentes os custos de manutenção.

O valor máximo admitido para o custo global da intervenção é de € 4.400.000,00 (quatro milhões e quatrocentos mil euros), excluindo o valor do IVA, à taxa legal em vigor.

7. Anexos ao Programa Preliminar

O presente documento é composto pelos seguintes anexos:

Anexo I.1: Programa Estratégico de Salvaguarda e Valorização do Palácio Nacional de Queluz e sua Zona envolvente (.pdf)

Anexo I.2: Planta com delimitação da área de intervenção (.dwg)

Anexo I.3: Levantamento Fotográfico - Planta (.pdf)

Anexo I.4: Levantamento Fotográfico (.jpg)

Anexo I.5: Fotomontagem 1 (.jpg)

Anexo I.6: Eixo Verde e Azul (.pdf)

Anexo I.7: Queluz Cadernos e Relatórios (.pdf)





endémica
arquitectura del paisaje