

Detección automática de momentos de risco alérxico da poboación ourensá

M. Novo,¹ S. Álvarez-López,² L. Borrajo,¹ E. Lorenzo,¹
M. Míguez,³ R. Pavón,¹ J. R. Méndez,¹ P. Araújo-Nespereira,⁴
F. Fdez-Riverola,¹ R. Laza,¹ F. J. Rodríguez-Rajo² e
M. Fernández-González²

¹*Departamento de Informática, ES de Enxeñaría Informática.
Campus de Ourense. Universidade de Vigo*

²*Departamento de Bioloxía Vexetal e Ciencias do Solo, Facultade de Ciencias.
Campus de Ourense. Universidade de Vigo*

³*Departamento de Química Analítica e dos Alimentos, Facultade de Ciencias.
Campus de Ourense. Universidade de Vigo*

⁴*Grupo de Xeotecnía e Hidroxéoloxía, Facultade de Ciencias.
Campus de Ourense. Universidade de Vigo*

manovo@uvigo.gal; sabela.alvarez.lopez@uvigo.gal; lborrajo@uvigo.gal; eva@uvigo.gal; mmiguez@uvigo.gal; pavon@uvigo.gal;
moncho.mendez@uvigo.gal; araujo@uvigo.gal; riverola@uvigo.gal; rlaza@uvigo.gal; javirajo@uvigo.gal; mfgonzalez@uvigo.gal

Resumo

Na actualidade, o número de persoas que presentan reaccións alérxicas ao pole aumentou considerablemente, polo que é interesante contar con mecanismos que permitan determinar, coa maior precisión posible, a cantidade de pole que estará presente na atmosfera e reducir, deste xeito, o seu impacto na poboación. Para predicir a concentración de pole realizáronse estudos que utilizan modelos de regresión lineal e que, posteriormente, evolucionaron cara a modelos automáticos ou de aprendizaxe profunda. A pesar da aplicación idónea destes modelos para predicir a concentración de pole, os resultados obtidos dependen en gran medida da existencia de medicións previas de concentración e están influenciados pola calidade dos datos dispoñibles.

A investigación conxunta das disciplinas de botánica e de informática trata de realizar unha estimación do risco de alerxias polo pole, de forma que permita a admi-

nistración de antihistamínicos con anterioridade á súa exposición, posto que está demostrado que é moito máis efectiva ca unha vez aparecidos os primeiros síntomas. En concreto, esta estimación fíxose sobre *Alnus*, *Betula*, *Platanus*, *Poaceae* e *Urticaceae*, os cinco tipos de pole considerados máis agresivos na provincia de Ourense.

O grupo de investigación da disciplina de botánica encargouse da captación de datos de concentración de pole, normalización e representación dos valores de recollida, calculou a estación polínica principal para cada tipo de pole e propuxo un calendario polínico para a cidade de Ourense. E o grupo de investigación de Informática centrouse na análise dos datos proporcionados e na comparación de diferentes técnicas de aprendizaxe automática para clasificar as concentracións de pole na atmosfera da provincia de Ourense e para facilitar a toma de decisións. Neste traballo móstrase a experimentación unicamente co tipo de pole *Alnus*; é de esperar que tamén será adecuada para cada un dos outros tipos de pole, adaptando en cada caso o modelo máis axeitado.

Palabras clave:

Predición de pole, alerxia e aprendizaxe automática

1. Introducción

As alerxias son reaccións inadecuadas do sistema inmunitario ante substancias específicas como o pole, os pelos das mascotas ou os alimentos, que acontecen no organismo dalgunhas persoas. A relación entre a concentración de pole atmosférico e a sintomatoloxía alérxica é coñecida dende a antigüidade como «febre do feo» ou «polinose». Os episodios provocados polas alerxias aumentaron nos países desenvolvidos e industrializados nas últimas décadas [1], tanto no seu número coma na gravidade das reaccións [2, 3]. Nos últimos anos, o número de persoas que presentan reaccións alérxicas sufriu un notable incremento por mor de factores como o exceso de hixiene, os efectos do cambio climático ou a contaminación; por exemplo, a cantidade de partículas expulsadas polos motores de combustión interna [4, 5]. A Organización Mundial da Saúde (OMS) informou de que o 30-40 % da poboación mundial presenta sensibilización alérxica [6, 7] e rexístrase o maior impacto clínico en Europa [8, 9], onde os grans de pole son responsables do 63 % das rinoconxuntivites e do 52 % dos casos de asma detectados en unidades clínicas de alerxia de áreas interiores cun clima de tipo con-

tinental [10], como é o caso de Ourense. Polo tanto, no momento actual, esta doenza constitúe un problema de saúde crecente.

Non obstante, estimar o risco de alerxias causadas polo pole ten implicacións máis complexas, posto que non existen mecanismos para medir a carga de pole que contén o aire nun momento dado. A elevada incidencia das alerxias supón un problema relevante para a poboación ourensá, xa que satura o sistema sanitario [11]. Ademais, a administración de antihistamínicos con anterioridade á exposición ao pole é moito máis efectiva ca o seu uso unha vez aparecidos os primeiros síntomas. Por este motivo, cómpre contar con mecanismos que permitan determinar, coa maior precisión posible, a cantidade de pole dos distintos tipos que estará contida no aire (medido en grans/m³ de aire) nos días posteriores. Por todo isto, os recontos de pole son de grande utilidade para poder identificar o risco de polinose en cada cidade ou área xeográfica [12]. Ademais, os recontos permiten coñecer con maior precisión cando os e as pacientes con sintomatoloxía alérxica deben comezar e rematar o seu tratamento profiláctico [13].

Polo tanto, actualmente as alerxias ao pole son as enfermidades crónicas máis frecuentes e as previsións da EAACI (*European Academy of Allergy and Clinical Immunology*, Academia Europea de Alerxia e Inmunoloxía Clínica) indican que, dentro de quince anos, o 50 % da poboación europea sufrirá algún tipo de alerxia [14]. Segundo os datos publicados pola EAACI e pola SEAIC (Sociedade Española de Alergoloxía e Inmunoloxía Clínica) en 2019, a alerxia comeza a ser unha ameaza para a saúde pública con dimensións de pandemia con impacto na calidade de vida e na economía da saúde [15].

Existen ata cincuenta tipos de pole que poden causar reaccións alérxicas. Non obstante, na provincia de Ourense, considéranse especialmente agresivos cinco deles: *Alnus*, *Betula*, *Platanus*, *Poaceae* e *Urticaceae*. Unha das principais dificultades para estimar o risco de alerxias por pole é que a súa concentración de partículas contidas no aire depende da época de floración das plantas, así como de distintas variables meteorolóxicas e climatolóxicas.

Coa finalidade de minimizar os efectos adversos que poden causar determinadas concentracións de pole na atmosfera sobre a poboación sensible, preténdese elaborar calendarios de pole e modelos de predición para estimar as concentracións deste na atmosfera. Estas ferramentas son moi útiles na planificación de tratamentos preventivos para pacientes con problemas de alerxia [9, 16]. Este coñecemento é esencial para orientar os médicos e médicas no diagnóstico e no tratamento das alerxias, así como

para reducir a exposición dos e das pacientes alérxicos ao pole nos días de maior concentración, de xeito que poidan adoptar medidas preventivas en zonas especialmente poboadas [17] como é o caso da cidade de Ourense.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

O presente estudo levouse a cabo no noroeste da península ibérica, concretamente na cidade de Ourense (Galicia) (42° 34' 49.0" N; 7° 85' 54.6" O), entre os meses de xaneiro e de setembro de 2021. O grupo BV1-Planta, Solo e Aproveitamento de Subprodutos conta cunha base de datos de pole e meteorolóxicos que se utilizaron para desenvolver o calendario polínico da cidade desenvolvido polo citado grupo e para os modelos de predición de pole desenvolvidos polo grupo SI4-Sistemas Informáticos de Nova Xeración.

2.2. Datos de pole e meteorolóxicos

A monitorización aerobiolóxica do pole realizouse mediante un captador volumétrico Lanzoni VPPS-2000 de tipo Hirst s. r. l. (Boloña, Italia) situado na terraza da Facultade de Ciencias de Ourense. O tomamostras ten un caudal de succión de 10 L/min que simula a respiración humana. Os grans de pole capturáronse usando unha cinta Melinex durante os sete días da semana. Esta cinta está recuberta cunha solución adhesiva para que os grans de pole poidan adherirse a ela. Os recontos de pole realizáronse seguindo a metodoloxía proposta pola Rede Española de Aerobioloxía (REA) [18], baseada en catro traxectos lonxitudinais ao longo das preparacións. Os datos do pole expresáronse como pole por metro cúbico de aire (grans de pole/m³) cando se trata de valores diarios ou como grans de pole (pole) cando se trata de totais anuais [19].

Unha vez feito o reconto de pole, calculouse a estación polínica principal (*Main pollen season*, MPS) para cada tipo de pole estudado. Para iso utilizouse o método de Andersen, o cal define a MPS como o período dende o día que se acaba o 2,5 % das concentracións totais anuais de pole ata a data en que se consegue o 97,5 % [20].

Os datos meteorolóxicos foron tomados da estación meteorolóxica de MeteoGalicia Ourense, pertencente ao Instituto Galego de Meteoroloxía e Oceanografía e situada a 300 metros do captador de pole. Os parámetros medidos foron temperaturas máxi-

ma, mínima e media (°C); humidade relativa (%); chuvia (mm); sol (h); velocidade do vento (Km/h); e temperatura do orballo (°C).

2.3. Elaboración do calendario polínico

Para levar a cabo o calendario polínico da cidade de Ourense seguiu-se o modelo proposto por Spieksma [21] para o comité de aerobioloxía e pole alérxico da Academia Europea de Alergoloxía e Inmunoloxía Clínica. O método baséase en divisións decenais de cada mes. A partir dos datos das concentracións diarias de pole, lévase a cabo a media aritmética decenal e agrúpanse os valores obtidos para cada un dos anos da mostra (1993-2020). A representación gráfica considera os meses do ano, de xaneiro a decembro; por isto non se incluíu o ano 2021, xa que o proxecto só chega ata setembro no eixe das abscisas, e as distintas clases exponenciais consideradas no eixe das ordenadas. Os criterios seguidos para incluír un taxon no calendario consistirán en presentar, polo menos, unha clase exponencial igual ou superior a 1 gran de pole/m³. Os tipos de pole incluídos no calendario ordenaranse segundo a orde cronolóxica de aparición na atmosfera. Esta estruturación permite unha visión clara dos períodos de polinización dos diferentes taxons ao longo do ano.

2.4. Modelos de clasificación

O obxectivo da recollida de datos comentada previamente é a súa aplicación posterior de técnicas de aprendizaxe automática e a construción de modelos que realicen unha estimación de risco alérxico en Ourense para os tipos polínicos analizados.

No traballo de Vélez-Pereira [22] analizouse o uso de modelos para predicir a concentración de pole mediante a avaliación de 152 artigos científicos publicados durante o período 1998-2015. Neste traballo advírtese de que a regresión lineal é o modelo clásico máis aplicado para predicir a concentración de pole na atmosfera (21,1 %). Non obstante, nos últimos anos obsérvase unha tendencia á baixa respecto do uso da regresión lineal como mecanismo para predicir a concentración de pole en favor da utilización de métodos avanzados de aprendizaxe automática (*Machine Learning*, ML), como o *Deep Learning* e, en particular, as redes neuronais artificiais (*Random Forests*, RF, ou *Support Vector Machines*, SVM). Esta tendencia débese a que estes modelos axústanse mellor aos datos de entrada con independencia de se existe ou non unha correlación entre as características e son máis adecuados para predicir un sistema non lineal

complexo como a concentración de pole na atmosfera [23]. Ademais, unha vantaxe adicional destes métodos é que permiten o desenvolvemento en paralelo de procesos de clasificación, predición e análise de grupos, entre outros, e facilitan o axuste dos modelos [24].

O mellor método de aprendizaxe automática depende do problema e dos datos de adestramento dispoñibles. Para determinar o mellor método de aprendizaxe automática, moitos estudos optaron por comparar diversas técnicas [25]. De feito, a maioría dos traballos para predicir concentracións de pole abarcan unha selección de métodos de modelización. Por exemplo, Csépe *et al.* [26] compararon algoritmos baseados en redes neuronais (*Multi Layer Perceptron*, MLP) e en árbores para a predición de *Ambrosia*; Nowosad *et al.* [27] compararon nove técnicas de modelización diferentes, incluídos modelos lineais e non lineais, para as concentracións de pole de *Alnus*, *Betula* e *Corylus*; Bogawsky *et al.* [28] predixeron o período de inicio de floración de *Betula* comparando cinco tipos de modelos: SVM, RF, mínimos cadrados parciais, mínimos cadrados ordinarios e regresión lineal; Zewdie *et al.* [29] accurately predicting the daily concentration of airborne pollen is of significant public benefit in providing timely alerts. This study presents a method for the robust estimation of the concentration of airborne *Ambrosia* pollen using a suite of machine learning approaches including deep learning and ensemble learners. Each of these machine learning approaches utilize data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF presenta un método para estimar a concentración de pole de *Ambrosia* no aire utilizando un conxunto de enfoques de aprendizaxe automática que inclúe *Deep Learning*, *Random Forest* e *Extreme Gradient Boosting*.

Nesta liña, neste traballo tamén se realiza un estudo comparativo do rendemento de diferentes clasificadores na predición de concentración de pole na cidade de Ourense. En xeral, pódese observar como os *Random Forest* e as redes neuronais, especialmente os *Multi-layer Perceptron*, tiveron un bo rendemento en traballos levados a cabo por outros autores e, polo tanto, foron seleccionados para aplicarse neste estudo, xunto con outros clasificadores lineais ou probabilísticos. En concreto, seleccionáronse os seguintes:

2.4.1. *Support Vector Machine (SVM)*

Representa a información como puntos nun espazo de N dimensións e trata de encontrar un hiperplano que clasifique os puntos de datos. Aínda que existen moitas

posibilidades para colocar o hiperplano, o método ten como obxectivo atopar o hiperplano óptimo (liña) que separa os puntos de información ao maximizar a marxe, que é a distancia entre o hiperplano e os vectores de soporte (os puntos máis próximos á liña de ambas as clases).

A diferenza doutros modelos, moi poucos estudos empregaron exclusivamente as SVM para predicir o pole e, polo xeral, compáranse con outros métodos de modelización. Como exemplos, as SVM utilizáronse no desenvolvemento de modelos para predicir os períodos de floración [28], así como a previsión das concentracións diarias de pole [29] accurately predicting the daily concentration of airborne pollen is of significant public benefit in providing timely alerts. This study presents a method for the robust estimation of the concentration of airborne Ambrosia pollen using a suite of machine learning approaches including deep learning and ensemble learners. Each of these machine learning approaches utilize data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

2.4.2. Árbores de decisión e métodos Ensemble

Árbores de decisión (*Decision Trees*, DT) é unha técnica de aprendizaxe automática supervisada non paramétrica que trata de predicir o valor dunha variable obxectivo mediante a aprendizaxe de regras de decisión simples inferidas a partir dos datos. Trátase dun modelo fácil de interpretar, pero propenso a sobreadaptarse aos datos de adestramento ao engadir máis regras para chegar a unha clasificación precisa dos datos.

As árbores de decisión aplicáronse en numerosos traballos de predición [30] e tamén no estudo levado a cabo por Kubik-Komar *et al.*[31], que examinou os cambios no inicio da tempada de pole de bidueiro e determinou a tendencia destes cambios.

Os métodos *ensemble*, coma os bosques aleatorios (*Random Forest*, RF), usan múltiples árbores que se combinan para mellorar a predición, aínda co inconveniente dunha considerable redución na facilidade de interpretación do modelo final. Utilizan múltiples algoritmos de aprendizaxe para obter predicións que melloren as que se poderían obter por medio dos algoritmos individuais. Este método ten a capacidade engadida de determinar as variables máis importantes que contribúen a un modelo e como tal utilízase en varios estudos para mellorar os modelos de aprendizaxe automática.

No traballo de Huete *et al.* [32] empregáronse métodos de aprendizaxe automática RF para comprender mellor as relacións entre a fenoloxía da paisaxe e as concentracións de pole inducidas pola floración estacional, mellorando as capacidades de

predición de pole. RF utilizáronse tamén para desenvolver modelos de predición para altas concentracións de diferentes tipos de poles, como *Alnus*, *Betula* e *Corylus* [27] e Poaceae [33].

2.4.3. Gaussian Naive Bayes (GNB)

Clasificador probabilístico que estima probabilidades de clases condicionais aplicando o teorema de Bayes baixo a suposición de que as variables son independentes da clase. A pesar desta forte suposición, os clasificadores *Naive Bayes* (NB) adoitan funcionar ben para problemas prácticos. Son robustos para atributos irrelevantes e poden xestionar os valores que faltan ignorando a instancia durante os cálculos de estimación de probabilidades. Son altamente escalables e bastante interpretables, o que os fai apropiados para o seu uso por expertos e expertas que non sexan do dominio. A súa principal limitación con respecto aos métodos baseados en árbores é a súa forte asunción de independencia.

O modelo NB aplicouse a problemas de ecoloxía, investigación ambiental e xeociencias. En palinoloxía, o algoritmo NB aplicouse ao recoñecemento automatizado de pole [34] and to examine the extent of previously reported overlap in these variables. • RESULTS Our results indicate a degree of overlap in all cases. The narrowest overlap was in measurements of maximum Feret diameter (MFD).

2.4.4. Multi-layer Perceptron (MLP)

Son redes neuronais simples con polo menos unha capa oculta. Unha rede deste tipo está formada por un gran número de neuronas organizadas en capas. O número mínimo de capas necesarias é de tres: unha capa de entrada, unha capa oculta e unha capa de saída. Pode solucionar problemas que non son linealmente separables.

A aplicación de MLP serviu para avaliar diversos aspectos relacionados coa modelización e coa predición de pole. Por exemplo, MLP utilizouse para predicir a concentración diaria de *Ambrosia* sobre diferentes cidades ata con sete días de antelación e tamén utilizouse na construción dun sistema de alarma de pole de *Ambrosia* na rexión bioxeográfica de Pannonian [26]; tamén Puc [35] empregou unha rede neuronal MLP para predicir o pole de *Betula* en Polonia.

3. Resultados botánicos

A aparición de grans de pole na atmosfera foi recoñecida como causa de importantes problemas de contaminación, como as alerxias na saúde das persoas sensibles a estas partículas [36]. No presente proxecto estudáronse os tipos polínicos máis alerxénicos na cidade de Ourense: *Alnus*, *Betula*, *Platanus*, Poaceae e Urticaceae.

Coa base de datos de pole (2009-2020) calculáronse as estacións polínicas principais dos tipos de pole estudados. O pole aerotransportado de *Alnus* estivo presente na atmosfera de Ourense durante o inverno, principalmente en xaneiro e en febreiro (táboa 1). Durante o período de estudo (2009-2020), a estación polínica principal de *Alnus* comezou o 9 de xaneiro e rematou o 7 de marzo, cunha duración media de 58 días. Para as datas de comezo e de finalización da estación polínica detectouse unha desviación estándar de 5,5 % e de 12,3 %, respectivamente (táboa 1). Datos similares de duración da estación polínica de *Alnus* foron apuntados para a mesma área de estudo (44 días) para os anos 2016-2019 por Fernández-González *et al.* [37]. O pole de *Betula* foi detectado como media na atmosfera de estudo dende comezos do mes de abril ata os primeiros días de maio. Nstas datas atopouse unha desviación estándar de 11,5 % para o comezo e de 9,1 % para a fin da estación polínica, respectivamente; a duración media foi de 33 días e o pico máximo rexistrouse o 11 de abril (táboa 1). Estes datos foron apoiados por un estudo realizado en Ourense para este tipo polínico coincidindo as datas de comezo coa fin da estación e, polo tanto, coa súa duración [37].

O pole de *Platanus* estivo presente na atmosfera de estudo a comezos da primavera. A data media de comezo da estación polínica de *Platanus* foi o 22 de marzo e estendeuse ata o 19 de abril: a desviación estándar foi maior para a data de fin ca para o comezo (11,1 % e 7,7 % respectivamente), e rexistrouse unha duración media de 29 días. O pico máximo de pole acadouse nos últimos días do mes de marzo (táboa 1). A duración media foi lixeiramente inferior á apuntada por Álvarez-López *et al.* [38] identified as an important global pandemic with a considerable impact on the worldwide economy. In addition, a higher prevalence of pollen Type I sensitization cases in urban environments in comparison with the rural territories was detected. Our survey sought to assess the main biological pollution episodes caused by the aeroallergens of the major allergenic tree species in urban environments. A Hirst-type volumetric device was used for pollen sampling and a Burkard Cyclone sampler for the detection of tree atmospheric allergens over two years. The main allergens of *Alnus*, *Fraxinus*,

Betula, Platanus and Olea, were detected in the atmosphere. Three peaks of important pollen concentrations were recorded throughout the year. The developed regression equations between pollen counts and allergen proteins registered great R2 values. The number of days with probability of allergenic symptoms was higher when the pollen and allergen data were assessed altogether. Fraxinus allergens in the atmosphere were detected using Ole e 1 antibodies and the Aln g 1 allergens with Bet v 1 antibodies, demonstrating the cross-reaction processes between the principal allergenic proteins of the Oleaceae and Betulaceae families. Long Distance Transport processes (LDT, de 36 e 33 días, respectivamente, para a cidade de Ourense. Por outra banda, un estudo levado a cabo no norte de Portugal (O Porto) apuntou unha duración máis longa da estación polínica principal, 44 días [39], o que se pode deber ás condicións meteorolóxicas máis suaves nesta localización, xa que a proximidade do mar nesta área induce a unhas oscilacións térmicas menos pronunciadas, que fai que a estación polínica deste taxon sexa máis longa.

Os tipos de pole Poaceae e Urticaceae foron os que acadaron unhas estacións polínicas máis longas cunha media de 146 e 253 días de duración respectivamente. Traballo levado a cabo recentemente na mesma área de estudo apuntaron unha duración da estación de Poaceae lixeiramente inferior, cunha media de 139 días [40]. As Poacea comezaron a súa estación polínica o 30 de marzo e remataron o 22 de agosto. A desviación estándar foi maior para o comezo da estación (18,1 %) ca para o remate (12,9 %) e rexistrouse un pico máximo o 11 de xullo, data similar á apuntada por un estudo levado a cabo no Porto (Portugal), que rexistrou o pico máximo o 6 de xullo [7].

Por outra banda, as *Urticaceas* comezaron a estación principal de pole o 19 de febreiro e remataron o 29 de outubro; datos similares foron apuntados para a rexión do norte de Portugal, que rexistraron este tipo polínico desde comezos do mes de marzo ata mediados do mes de outubro [41]. Estas rexistraron unha maior desviación estándar á fin da estación (24,3 %) ca ao comezo (9,3 %), e acadaron o pico máximo de pole a mediados do mes de xuño (táboa 1). Datos similares foron apuntados por un estudo levado a cabo en Vigo (noroeste da península ibérica) entre os anos 1999 e 2017, no que indican que o pico máximo de pole rexistrouse nos primeiros quince días do mes de xuño [42]. Non obstante, estudos realizados na rexión do norte de Portugal (O Porto) rexistraron o pico máximo de pole de *Urticaceae* a finais do mes de abril [7].

	<i>Alnus</i>				<i>Betula</i>			
	Inicio	Fin	Duración	Día Pico	Inicio	Fin	Duración	Día Pico
2009	05-xan	13-mar	68	30-xan	17-mar	05-mai	50	19-mar
2010	18-xan	05-mar	47	24-xan	12-abr	05-mai	24	26-abr
2011	09-xan	23-feb	46	20-xan	31-mar	18-abr	19	06-abr
2012	07-xan	11-mar	64	20-xan	25-mar	12-mai	49	30-mar
2013	02-xan	04-mar	62	16-xan	14-abr	13-mai	30	25-abr
2014	10-xan	22-mar	72	27-xan	08-abr	04-mai	27	14-abr
2015	15-xan	06-abr	82	17-feb	02-abr	28-abr	27	12-abr
2016	31-dec	08-mar	68	24-xan	19-abr	18-mai	30	03-mai
2017	10-xan	02-mar	52	30-xan	26-mar	27-abr	33	10-abr
2018	17-xan	26-feb	41	24-xan	18-abr	15-mai	28	25-abr
2019	02-xan	01-mar	59	25-xan	24-mar	08-mai	46	31-mar
2020	13-xan	21-feb	40	30-xan	20-mar	24-abr	36	25-mar
Máximo	18-xan	06-abr	82	17-feb	19-abr	18-mai	50	03-mai
Mínimo	31-dec	21-feb	40	16-xan	17-mar	18-abr	19	19-mar
Promedio	09-xan	07-mar	58	26-xan	02-abr	04-mai	33	11-abr
Desv. Std.	5,5645	12,3248	13,2696	8,0623	11,4614	9,1167	10,0646	14,2063
Coef. Desv. Std.(%)	0,0152	0,0276	22,7155	0,0181	0,0257	0,0204	30,2694	0,0318
	<i>Platanus</i>				<i>Poaceae</i>			
	Inicio	Fin	Duración	Día Pico	Inicio	Fin	Duración	Día Pico
2009	18-mar	14-abr	28	19-mar	31-mar	19-ago	142	21-xuñ
2010	30-mar	24-abr	26	06-abr	16-abr	09-ago	116	21-xuñ
2011	25-mar	14-abr	21	29-mar	21-mar	27-ago	160	27-xuñ
2012	19-mar	09-abr	22	22-mar	24-mar	03-set	164	02-xull
2013	28-mar	05-mai	39	30-mar	17-abr	28-ago	134	09-xull
2014	20-mar	23-abr	35	20-mar	12-mar	23-ago	165	15-xuñ
2015	28-mar	17-abr	21	30-mar	05-abr	28-ago	146	18-xuñ
2016	21-mar	24-abr	35	29-mar	28-abr	16-ago	111	28-xuñ
2017	16-mar	20-abr	36	29-mar	18-mar	18-ago	154	01-xull
2018	06-abr	08-mai	33	06-abr	14-abr	18-set	158	18-xuñ
2019	21-mar	13-abr	24	29-mar	22-feb	26-ago	186	11-xull
2020	07-mar	28-mar	22	11-mar	31-mar	28-xull	120	03-xull
Máximo	06-abr	08-mai	39	06-abr	28-abr	18-set	186	11-xull
Mínimo	07-mar	28-mar	21	11-mar	22-feb	28-xull	111	15-xuñ
Promedio	22-mar	19-abr	29	26-mar	30-mar	22-ago	146	27-xuñ
Desv. Std.	7,7401	11,1110	6,7082	7,5538	18,0781	12,9111	22,6609	8,5067
Coef. Desv. Std.(%)	0,0173	0,0249	23,5376	0,0169	0,0405	0,0288	15,4858	0,0190
	<i>Urticaceae</i>							
	Inicio	Fin	Duración	Día Pico				
2009	24-feb	11-out	230	18-xuñ				
2010	02-mar	14-set	197	23-xuñ				
2011	26-feb	04-nov	252	24-xuñ				
2012	01-mar	20-nov	265	24-xuñ				
2013	18-feb	08-out	233	30-xuñ				
2014	26-feb	30-out	247	14-xuñ				
2015	25-feb	17-dec	296	03-xuñ				
2016	30-xan	10-nov	286	20-xuñ				
2017	15-feb	27-out	255	11-xuñ				
2018	20-feb	15-nov	269	23-xuñ				
2019	15-feb	27-out	255	03-xull				
2020	07-feb	10-out	247	04-abr				
Máximo	02-mar	17-dec	296	03-xull				
Mínimo	30-xan	14-set	197	04-abr				
Promedio	19-feb	29-out	253	13-xuñ				
Desv. Std.	9,3176	24,3348	26,0815	23,7442				
Coef. Desv. Std.(%)	0,0209	0,0542	10,3225	0,0531				

Táboa 1. Características da MPS para cada un dos tipos de pole estudados dende 2009 a 2020: data de comezo e de fin da MPS, duración e día do pico de pole. Tamén se amosa o valor máximo, mínimo e medio, a desviación estándar (desv. std.) e a variación estándar relativa en porcentaxe (coef. desv. std. %)

Ademais, no ano 2021 realizouse a monitorización de pole da atmosfera de Ourense dos diferentes tipos polínicos estudados. Para o tipo polínico *Alnus*, rexistrouse un total de 798 grans de pole na atmosfera de Ourense e acadou o pico máximo o 28 de xaneiro con 191 grans/m³ (figura 1). Ambos os valores, tanto a concentración de pole total coma a concentración de pole máxima rexistrada, foron moi inferiores aos apuntados por Fernández-González *et al.* [37] para o período 2016-2019 na mesma área de estudo.

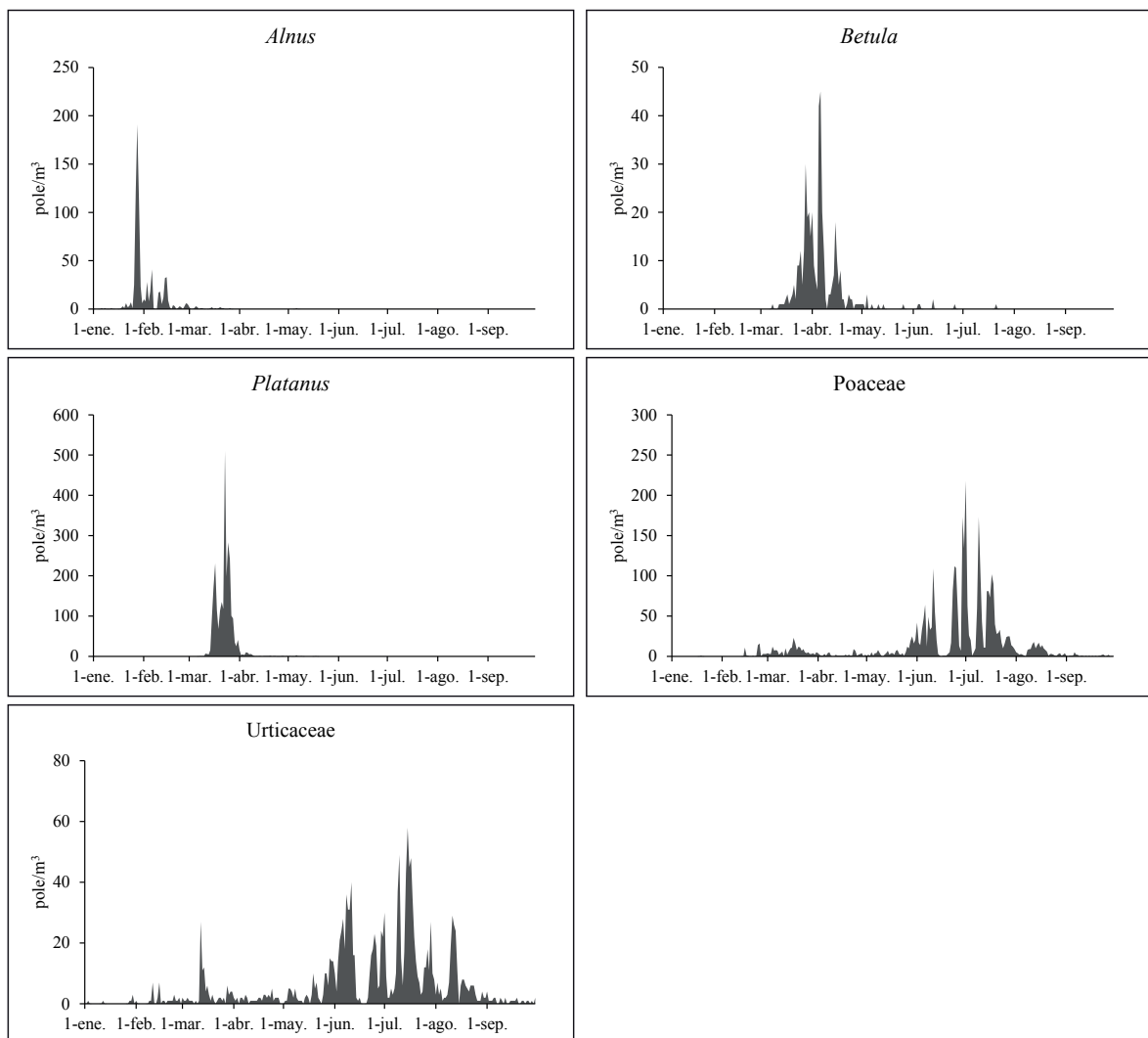


Figura 1. Concentración diaria dos principais tipos polínicos estudados na atmosfera de Ourense durante o período de estudo

O pole de *Betula* rexistrouse na atmosfera de estudo entre os primeiros días do mes de marzo ata comezos do mes de maio. As concentracións atopadas nos vindeiros meses foron residuais, o rexistro total de grans de *Betula* foi de 404 grans de pole, e acadou a máxima concentración o 6 de abril con 45 grans de pole/m³ (figura 1). Estes resultados foron similares aos apuntados no ano 2019 ao ser moi inferiores aos das campañas de 2016 a 2018 para esta mesma área de estudo [37]. *Platanus* foi o taxon que amosou unha estación polínica máis curta; a concentración total rexistrada de *Platanus* foi de 2695 grans de pole e acadou o pico máximo o 23 de marzo con 510 grans de pole/m³ (figura 1). Datos similares foron apuntados para Ourense no ano 2018 e acadou 5383 grans de pole e un pico máximo de 932 grans de pole/m³; neste mesmo estudo viuse que as concentracións de *Platanus* para O Porto (Portugal) foron moi inferiores e rexistrouse un total de 750 grans de pole e un pico máximo de 82 grans de pole/m³ [7]. O pole de Poaceae detectouse na atmosfera de estudo dende a metade do mes de febreiro ata a segunda decena do mes de setembro e acadou un total de 3447 grans de pole durante o período de estudo. A concentración máxima rexistrouse o 1 de xullo con 218 grans de pole/m³ (figura 1). Un estudo recente realizado na mesma área achegou resultados similares e rexistrou unha media de 4608 grans de pole e un pico máximo de 276 grans de pole/m³ no período 1993-2020 [40]. Finalmente, o pole das Urticaceae estivo presente durante a maioría dos días de mostraxe e acadou unha concentración total de 1583 grans de pole durante o período de estudo. A concentración máxima deste tipo polínico rexistrouse o 15 de xullo cun total de 58 grans de pole/m³ (figura 1); resultados similares foron apuntados para o norte de Portugal nun estudo realizado entre 2002 e 2017 [41].

A continuación elaborouse un calendario polínico para a cidade de Ourense. Para iso utilizáronse datos dende 1993 ata 2020. Como se explica na sección de materiais e de métodos, no calendario polínico aparecen todos os tipos polínicos que teñan unha representación maior ao 1 % do pole total rexistrado na cidade; entre eles están os taxons que causan máis alerxenicidade na área de estudo como son *Alnus*, *Betula*, *Platanus*, Poaceae e Urticaceae (figura 2). Como se pode observar no calendario, a estación polínica principal de *Alnus* para a cidade de Ourense estendeuse como media dende comezos do mes de xaneiro ata mediados do mes de marzo, e o período con maior concentración polínica foi dende mediados de xaneiro ata mediados de febreiro. A estación polínica para *Betula* comezou a mediados do mes de marzo e rematou a

finais do mes de maio, e o período de maior concentración rexístrase dende finais de marzo ata os primeiros días do mes de maio. A estación polínica de *Platanus* ten comezo nos primeiros días do mes de marzo e esténdese ata a metade do mes de maio, e a polinización máis intensa foi entre a metade do mes de marzo e os primeiros días do mes de abril. A estación polínica para Poaceae foi unha das máis longas, abrangue dende a segunda metade do mes de febreiro ata os últimos días do mes de setembro, pero con todo as concentracións máis elevadas rexistráronse dende comezos do mes de xuño ata os primeiros días do mes de agosto. Finalmente, as Urticaceae foron o tipo polínico que amosou unha estación polínica máis longa; esta deu comezo durante os últimos días do mes de xaneiro e estendeuse ata finais de setembro; nos meses de outubro a decembro rexistráronse concentracións esporádicas. O período no que se acadou unha maior concentración polínica abrangue dende os últimos días do mes de maio ata os primeiros días do mes de agosto (figura 2).

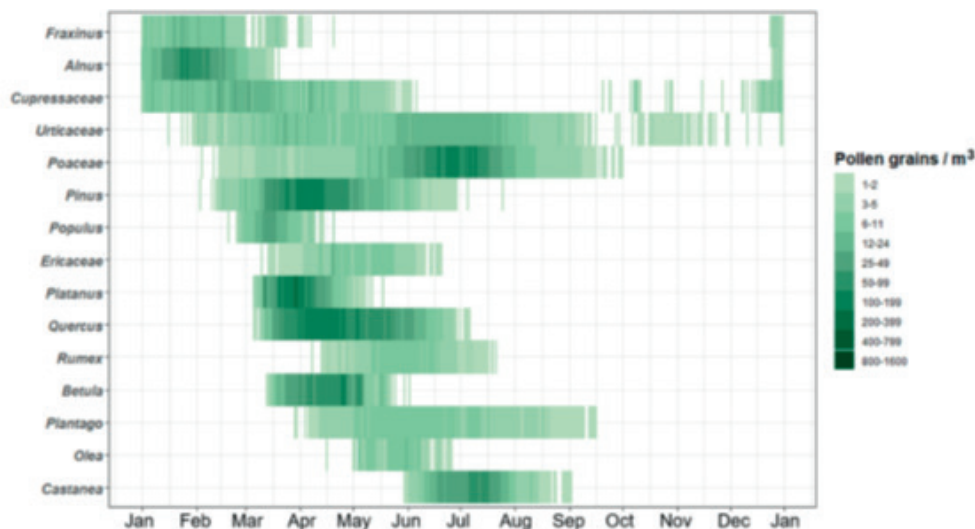


Figura 2. Calendario polínico que amosa os quince principais tipos polínicos da cidade de Ourense (1993-2020)

4. Experimentación

O protocolo experimental realizado neste proxecto compara diferentes técnicas de aprendizaxe automática, empregando os datos de pole e meteorolóxicos descritos na

sección 2.2 e buscando un modelo de clasificación eficiente, robusto e adaptado aos datos recompilados na cidade de Ourense.

Aínda que se dispuña dun calendario polínico dos tipos de pole principais na cidade de Ourense, coa idea de construír modelos de detección de risco alérxico estacionais para cada tipo de pole, pero sen ignorar ningún dos datos dispoñibles, ampliouse o período de meses para considerar, o que se denominou rango polínico. O rango polínico está formado polos meses que van dende a primeira data de inicio ata a última data de fin das MPS, para todos os anos dos que se dispón datos. A táboa 2 mostra o rango polínico en función do tipo de pole, que é máis amplo cos meses do calendario polínico.

	Xaneiro	Febreiro	Marzo	Abril	Maio	Xuño	Xullo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Decembro
Alnus	•	•	•	•								•
Platanus			•	•	•							
Betula			•	•	•							
Poaceae		•	•	•	•	•	•	•	•			
Urticaeae	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Táboa 2. Rango polínico na cidade de Ourense

Para cada tipo de pole unicamente se consideran os datos a partir do terceiro día consecutivo de presenza do citado pole no primeiro mes do seu rango polínico ata o cuarto día consecutivo de ausencia de pole no último mes do seu rango polínico (por exemplo, para *Alnus* sería dende decembro ata abril). Non se consideran os casos de pole dos meses que non pertencen ao rango polínico, ao considerar que son grans en resuspensión na atmosfera. Ademais, pola súa longa estadía na atmosfera, as proteínas destes grans de pole estarían desnaturalizadas e, polo tanto, o risco alerxénico sería moi baixo ou nulo.

No seguinte paso discretizáronse os datos, de forma que no canto de usar o número de grans de pole, clasificáronse en tres categorías (baixo, moderado e alto) segundo o *Manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología* e que aparecen reflectidos na táboa 3.

	Baixo	Moderado	Alto
Alnus	1-30	31-50	> 50
Platanus	1-50	51-200	> 200
Betula	1-30	31-50	> 50
Poaceae	1-25	26-50	> 50
Urticaceae	1-15	16-30	> 30

Táboa 3. Rangos de valores estipulados

Calculouse o coeficiente de correlación de Spearman para valorar a intensidade de asociación que existe entre a categoría de cantidade de pole e cada unha das variables meteorolóxicas. Os datos obtidos móstranse na táboa 4.

Variables meteorolóxicas	r	p
Chuvia	-0,169**	0,000
Humidade	-0,050	0,151
Temperatura máxima	-0,048	0,172
Temperatura mínima	-0,184**	0,000
Temperatura media	-0,181**	0,000
Sol	0,105**	0,003
Velocidade do vento	-0,109**	0,002
Temperatura do orballo	-0,151**	0,000

**A correlación é significativa no nivel 0,01

Táboa 4. Coeficiente de correlación para Alnus

Tal e como se pode observar, a correlación existente entre estas variables é significativa para as variables chuvia, temperatura mínima, media, sol, velocidade do vento e temperatura do orballo.

A continuación, decidiuse crear un conxunto de datos básico que sirva como punto de partida para os experimentos que se van realizar, de forma que permita ir engadindo de forma progresiva a información dos datos meteorolóxicos con maior correlación (véxase a táboa 4) e estudar cales deles achegan unha mellora aos resultados.

O conxunto básico de datos para *Alnus* está formado pola categoría do número de grans para cada día do seu rango polínico, ademais dos seguintes datos:

- Cantidad de grans de pole *Alnus* nos últimos sete días (serie temporal).
- Número de días dende o comezo do rango polínico. Considérase que o rango polínico comeza o día 1 do primeiro mes do rango polínico e remata o último día do último mes.
- Número de días dende que comezou a haber pole. Número de días que pasaron dende que se detectou pole tres días seguidos.

Novas variables	r	p
Días dende o comezo de pole	-0,468**	0,000
Día dende o comezo do rango polínico	-0,492**	0,000

**A correlación é significativa no nivel 0,01

Táboa 5. Coeficiente de correlación das novas variables

Na táboa 5 móstrase o coeficiente de correlación de Spearman das novas variables que se considerarán, e que poden ter influencia na clasificación de risco de pole baixo, moderado ou alto.

Este conxunto de datos básico dividiuse en datos de adestramento e en datos de proba. Como conxunto de adestramento seleccionáronse os datos dos anos 2010-2018 e como conxunto de proba os datos do ano 2019. Posteriormente, aplicáronse os diferentes modelos de clasificación descritos na sección 2.4, a través da libraría de Machine Learning para Python: scikit-learn.¹ A continuación móstranse os modelos empregados e a configuración establecida:

- *Support Vector Machines* (SVM): configuración por defecto.
- *Stochastic Gradient Descent* (SGD): configuración por defecto. Trátase dunha optimización do modelo SVM.
- *Random Forest* (RF): parámetro *random_state* = 0.
- *Gaussian Naive Bayes* (GNB): configuración por defecto.
- *Decision Tree* (DT): configuración por defecto. Utiliza unha versión optimizada do algoritmo *Classification and Regression Trees* (CART).
- *Multi-layer Perceptron* (MLP): parámetros *random_state*=1 e *max_iter*=3000.

¹ <https://scikit-learn.org/stable/>

Os resultados amósanse na seguinte táboa:

	Kappa	MCC
SVM	0,4552	0,4570
SGD	0,4501	0,4628
RF	0,5101	0,5111
GNB	0,4058	0,4174
DT	0,4677	0,4680
MLP	0,5597	0,6063

Táboa 6. Resultados de clasificación do conxunto de datos básico

Tal e como se pode ver na táboa 6, as medidas empregadas para avaliar cada modelo son o coeficiente Kappa e o coeficiente de correlación de Matthews (MCC). A primeira das medidas está baseada en comparar a concordancia que se observa nun conxunto de datos, fronte ao que podería ocorrer simplemente por azar. No caso do MCC, é unha medida para avaliar a calidade da clasificación, que se considera equilibrada e que funciona ben incluso cando as clases teñen tamaños moi diferentes, como sería este caso.

Para o caso base, o clasificador co cal se obteñen mellores resultados sería MLP. A seguinte proba que se realizou foi engadir ao conxunto de datos básico cada unha das variables meteorolóxicas con maior correlación (véxase a táboa 4) de forma individual. Os resultados móstranse na táboa 7.

		SVM	RF	SGD	GNB	DT	MLP
Chuvia	Kappa	0,4552	0,5536	0,5003	0,4058	0,5522	0,4634
	MCC	0,4570	0,5556	0,5146	0,4174	0,5550	0,4636
Temperatura mínima	Kappa	0,4552	0,5383	0,3321	0,3976	0,4577	0,5342
	MCC	0,4570	0,5404	0,3845	0,4098	0,4579	0,5393
Temperatura media	Kappa	0,4552	0,5383	0,4518	0,4058	0,5580	0,5663
	MCC	0,4570	0,5404	0,4658	0,4174	0,5628	0,5724
Sol	Kappa	0,4552	0,5315	0,4721	0,3976	0,6179	0,4782
	MCC	0,4570	0,5336	0,4867	0,4098	0,6187	0,4791

		SVM	RF	SGD	GNB	DT	MLP
Velocidade do vento	Kappa	0,4552	0,5383	0,3321	0,3976	0,4577	0,5342
	MCC	0,4570	0,5404	0,3845	0,4098	0,4579	0,5393
Temperatura rosada	Kappa	0,4552	0,5164	0,4682	0,3372	0,5388	0,5137
	MCC	0,4570	0,5182	0,4810	0,3501	0,5405	0,5157

Táboa 7. Resultados da clasificación con variables do conxunto básico máis meteorolóxicas independentes

Tal e como se mostra na táboa 7, mellóranse os resultados de clasificación ao empregar o modelo *Decision Tree* coas variables do conxunto básico mais a variable horas de sol. Ao tratarse dun tipo polínico que florece no inverno, dende un punto de vista biolóxico as horas de sol teñen unha grande incidencia sobre o período no cal vai dar comezo a floración, así como a cantidade de grans do pole que produce, xa que as horas de sol van inducir a esta especie a saír dun período de adormecemento e a comezar o período de acumulación de horas de calor para que, deste xeito, teña lugar a floración.

Polo tanto, este modelo empregárase para predicir a concentración de *Alnus* cunha semana de antelación, tomando a predición de horas de sol de MeteoGalicia.

5. Conclusións e traballo futuro

Neste traballo empregáronse os datos recollidos sobre os cinco tipos de pole máis alerxénicos na cidade de Ourense dende 1993 ata 2021. Para recoller os datos de concentración de grans de pole empregouse o captador volumétrico Lanzoni VPPS-2000, e os datos meteorolóxicos tomáronse da estación meteorolóxica de MeteoGalicia Ourense.

Con esta información calculáronse as MP e os rangos polínicos para cada tipo de pole. As primeiras empregáronse para calcular o calendario polínico da cidade de Ourense e os segundos para seleccionar un conxunto de datos básico co que adestrar diferentes modelos de aprendizaxe automática (SVM, SGD, RF, GNB, DT, MLP).

Dispor dun calendario polínico que proporciona información accesible sobre os principais tipos polínicos alerxénicos da cidade de Ourense é unha ferramenta moi útil de cara a advertir da posibilidade de elevadas concentracións de pole en diferentes épocas do ano en función do tipo polínico do que se trate. E para predicións a curto prazo (unha semana de antelación), dispor de diferentes modelos para cada tipo de

pole que sexan capaces de predicir cal vai ser a concentración de pole (baixa, moderada ou alta) é moi importante porque permitirá a administración de antihistamínicos con anterioridade á exposición ao pole, xa que está demostrado que é moito máis efectiva ca unha vez aparecidos os primeiros síntomas.

Para mellorar os modelos, vaise analizar a mellor forma de presentar os datos meteorolóxicos; por exemplo, ademais da chuvia do día en curso, poderíase presentar a chuvia acumulada nos últimos cinco días, chuvia acumulada en meses anteriores, temperatura media dos cinco días anteriores, temperatura media do outono... Ademais, investigarase sobre a creación dun sistema híbrido de intelixencia artificial para optimizar a predición.

6. Referencias

- [1] C. Traidl-Hoffmann, "On the way to allergy prevention—future perspective or illusory aim?," *AIMS Allergy Immunol.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–20, 2017, doi: 10.3934/Allergy.2017.1.15.
- [2] A. W. D'Amato, J. B. Bradford, S. Fraver, and B. J. Palik, "Effects of thinning on drought vulnerability and climate response in north temperate forest ecosystems," *Ecol. Appl.*, vol. 23, no. 8, pp. 1735–1742, 2013, doi: 10.1890/13-0677.1.
- [3] R. de Marco *et al.*, "Trends in the prevalence of asthma and allergic rhinitis in Italy between 1991 and 2010," *Eur. Respir. J.*, vol. 39, no. 4, pp. 883–892, Apr. 2012, doi: 10.1183/09031936.00061611.
- [4] S. Pereira, M. Fernández-González, A. Guedes, I. Abreu, and H. Ribeiro, "The Strong and the Stronger: The Effects of Increasing Ozone and Nitrogen Dioxide Concentrations in Pollen of Different Forest Species," *Forests*, vol. 12, no. 1, p. 88, 2021, doi: 10.3390/f12010088.
- [5] G. Wielgosiski, "Pollutant Formation in Combustion Processes," in *Advances in Chemical Engineering*, InTech, 2012.
- [6] P. Carinamos and M. Casares-Porcel, "Parámetros de alergenidad y comportamiento alérgico de la flora ornamental," *Cultura del Árbol*. pp. 20–27, 2017.
- [7] M. Fernández-González, H. Ribeiro, J. R. S. Pereira, F. J. Rodríguez-Rajo, and I. Abreu, "Assessment of the potential real pollen related allergenic load on the atmosphere of Porto city," *Sci. Total Environ.*, vol. 668, pp. 333–341, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.345.

- [8] F. Bosch-Cano *et al.*, "Human exposure to allergenic pollens: A comparison between urban and rural areas," *Environ. Res.*, vol. 111, no. 5, pp. 619–625, 2011, doi: 10.1016/j.envres.2011.04.001.
- [9] G. D'Amato *et al.*, "Allergenic pollen and pollen allergy in Europe," *Allergy*, vol. 62, no. 9, pp. 976–990, Sep. 2007, doi: 10.1111/j.1398-9995.2007.01393.x.
- [10] S. N. González-Díaz, A. Arias-Cruz, C. Macouzet-Sánchez, and A. B. Partida-Ortega, "Impact of air pollution in respiratory allergic diseases," *Med. Univ.*, vol. 18, no. 73, pp. 212–215, 2016, doi: 10.1016/j.rmu.2016.10.006.
- [11] C. M. Riveras, S. S. Luque, M. T. Q. Verdes, M. E. L. Lema, and L. A. García, "Impacto de los niveles de polen en la utilización de los servicios sanitarios en Santiago de Compostela," *Rev. Salud Ambient.*, vol. 12, no. 2, pp. 110–121, 2012.
- [12] W. Solomon and K. Mathews, "Aerobiology and inhalant allergens," in *Allergy: principles and practice*, 3rd ed., E. Middleton, C. Reed, E. Ellis, N. Adkinson, and J. Yunginger, Eds. CV Mosby, 1988, pp. 312–313.
- [13] F. J. Subiza, J. Pola, F. F. Brito, and A. S. M. de Gregorio, "Pólenes de interés en alergología en nuestro medio," *Tratado de alergología*, vol. 1, pp. 425–443, 2007.
- [14] "European Academy of Allergy and Clinical Immunology," 2019. <https://eaaci.org/outreach.html> (accessed Mar. 07, 2022).
- [15] R. Pawankar, G. W. Canonica, S. T. Holgate, and R. F. Lockey, *Libro Blanco sobre Alergia de la WAO*. 2011.
- [16] R. Perez-Badia, A. Rapp, C. Morales, S. Sardinero, C. Galan, and H. Garcia-Mozo, "Pollen spectrum and risk of pollen allergy in central Spain.," *Ann. Agric. Environ. Med.*, vol. 17, no. 1, pp. 139–51, 2010, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20684492>.
- [17] P. Marchetti *et al.*, "Pollen concentrations and prevalence of asthma and allergic rhinitis in Italy: Evidence from the GEIRD study," *Sci. Total Environ.*, vol. 584–585, pp. 1093–1099, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.168.
- [18] C. Galán, P. Cariñanos, P. Alcázar, and E. Domínguez, "Spanish aerobiology network: Management and quality manual."
- [19] C. Galán *et al.*, "Recommended terminology for aerobiological studies," *Aerobiologia (Bologna)*, vol. 33, no. 3, pp. 293–295, Sep. 2017, doi: 10.1007/s10453-017-9496-0.
- [20] T. B. Andersen, "A model to predict the beginning of the pollen season," *Grana*, vol. 30, no. 1, pp. 269–275, Jan. 1991, doi: 10.1080/00173139109427810.
- [21] F. Spieksma, N. Norland, G. Frenguelli, and D. Van Moerbeke, *Polen atmosférico en Europa*. UCB Brussels, 1995.

- [22] A. V. Pereira, "Modelación espacio-temporal de polen y esporas de hongos aerovagantes de Catalunya (1994-2015)," Universitat Autònoma de Barcelona, 2017.
- [23] D. J. Lary *et al.*, "Machine Learning Applications for Earth Observation," in *Earth Observation Open Science and Innovation*, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 165–218.
- [24] H. Scheifinger *et al.*, "Monitoring, Modelling and Forecasting of the Pollen Season," *Allergenic Pollen*. Springer Netherlands, pp. 71–126, 2013, doi: 10.1007/978-94-007-4881-1_4.
- [25] J. M. Maya-Manzano, M. Smith, E. Markey, J. Hourihane Clancy, J. Sodeau, and D. J. O'Connor, "Recent developments in monitoring and modelling airborne pollen, a review," *Grana*, vol. 60, no. 1, pp. 1–19, Jan. 2021, doi: 10.1080/00173134.2020.1769176.
- [26] Z. Csépe *et al.*, "The application of a neural network-based ragweed pollen forecast by the Ragweed Pollen Alarm System in the Pannonian biogeographical region," *Aerobiologia (Bologna)*, vol. 36, no. 2, pp. 131–140, Jun. 2020, doi: 10.1007/s10453-019-09615-w.
- [27] J. Nowosad, "Spatiotemporal models for predicting high pollen concentration level of *Corylus*, *Alnus*, and *Betula*," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 60, no. 6, pp. 843–855, Jun. 2016, doi: 10.1007/s00484-015-1077-8.
- [28] P. Bogawski, Ł. Grewling, and B. Jackowiak, "Predicting the onset of *Betula pendula* flowering in Poznań (Poland) using remote sensing thermal data," *Sci. Total Environ.*, vol. 658, pp. 1485–1499, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.295.
- [29] G. K. Zewdie, D. J. Lary, E. Levetin, and G. F. Garuma, "Applying Deep Neural Networks and Ensemble Machine Learning Methods to Forecast Airborne Ambrosia Pollen," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 11, p. 1992, Jun. 2019, doi: 10.3390/ijerph16111992.
- [30] M. Rakhra *et al.*, "Crop Price Prediction Using Random Forest and Decision Tree Regression: A Review," *Mater. Today Proc.*, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.261.
- [31] A. Kubik-Komar, K. Piotrowska-Weryszko, I. Kuna-Broniowska, E. Weryszko-Chmielewska, and B. M. Kaszewski, "Analysis of changes in *Betula* pollen season start including the cycle of pollen concentration in atmospheric air," *PLoS One*, vol. 16, no. 8, p. e0256466, Aug. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0256466.
- [32] A. Huete, N. N. Tran, H. Nguyen, Q. Xie, and C. Katelaris, "Forecasting Pollen Aerobiology with Modis EVI, Land Cover, and Phenology Using Machine Learning Tools," in *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Jul. 2019, pp. 5429–5432, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898796.

- [33] R. Navares and J. L. Aznarte, "Predicting the Poaceae pollen season: six month-ahead forecasting and identification of relevant features," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 61, no. 4, pp. 647–656, 2017, doi: 10.1007/s00484-016-1242-8.
- [34] K. A. Holt and M. S. Bebbington, "Separating morphologically similar pollen types using basic shape features from digital images: A preliminary study(1.)," *Appl. Plant Sci.*, vol. 2, no. 8, Aug. 2014, doi: 10.3732/apps.1400032.
- [35] M. Puc, "Artificial neural network model of the relationship between Betula pollen and meteorological factors in Szczecin (Poland)," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 56, no. 2, pp. 395–401, Mar. 2012, doi: 10.1007/s00484-011-0446-1.
- [36] J. Oteros, C. Galán, P. Alcázar, and E. Domínguez-Vilches, "Quality control in bio-monitoring networks, Spanish Aerobiology Network," *Sci. Total Environ.*, vol. 443, pp. 559–565, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.040.
- [37] M. Fernández-González, S. Álvarez-López, E. González-Fernández, M. J. Aira, and F. J. Rodríguez-Rajo, "Cross-reactivity between the Betulaceae family and fallout in the real atmospheric aeroallergen load," *Sci. Total Environ.*, vol. 715, p. 136861, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136861.
- [38] S. Álvarez-López, M. Fernández-González, E. González-Fernández, A. Garrido, and F. J. Rodríguez-Rajo, "Tree Allergen Pollen-Related Content as Pollution Source in the City of Ourense (NW Spain)," *Forests*, vol. 11, no. 11, p. 1129, 2020, doi: 10.3390/f11111129.
- [39] M. Fernández-González, H. Ribeiro, J. R. S. Pereira, F. J. Rodríguez-Rajo, and I. Abreu, "Assessment between Platanus pollen and Pla a 1 allergen in two cities of North-western Iberian Peninsula," *Aerobiologia (Bologna)*, vol. 35, no. 3, pp. 463–475, Sep. 2019, doi: 10.1007/s10453-019-09576-0.
- [40] E. González-Fernández, S. Álvarez-López, A. Garrido, M. Fernández-González, and F. J. Rodríguez-Rajo, "Data mining assessment of Poaceae pollen influencing factors and its environmental implications," *Sci. Total Environ.*, vol. 815, p. 152874, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152874.
- [41] I. Camacho, E. Caeiro, C. Nunes, and M. Morais-Almeida, "Airborne pollen calendar of Portugal: a 15-year survey (2002–2017)," *Allergol. Immunopathol. (Madr)*, vol. 48, no. 2, pp. 194–201, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.aller.2019.06.012.
- [42] J. A. Valencia, G. Astray, M. Fernández-González, M. J. Aira, and F. J. Rodríguez-Rajo, "Assessment of neural networks and time series analysis to forecast airborne Parietaria pollen presence in the Atlantic coastal regions," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 63, no. 6, pp. 735–745, Jun. 2019, doi: 10.1007/s00484-019-01688-z.

Proxectos INOU 2021

Investigación aplicada na provincia de Ourense

Coordinación:

Vicerreitoría do
Campus de Ourense-Campus Auga



Vicerreitoría do
Campus de Ourense
Universidade de Vigo

Proxectos INOU 2021.

Investigación aplicada na provincia de Ourense

Coordinación:

Vicerreitoría do
Campus de Ourense-Campus Auga

Ourense, 2022

Universidade de Vigo • Campus de Ourense

Proxectos INOU 2021. Investigación aplicada na provincia de Ourense

Autores/as:

De Carlos Villamarín, Pablo
Pérez González, Ana
Fernández González, María
Laza Fidalgo, Rosalía
Isorna Folgar, Manuel
Pérez Rodríguez, Francisco Javier
Raposo Rivas, Manuela
Alfonso Gil, Sonia
Rodríguez Teijeiro, Domingo
Casado Neira, David
García Pérez-Schofield, José Baltasar

Coordinación:

Vicerreitoría do Campus de Ourense-Campus Auga

Comisión de Avaliación:

de Blas Varela, Esther
Cid Fernández, Xosé Manuel
Fernández Gil, César Manuel
García Queijeiro, José Manuel
Gómez Rodríguez, Alma
Reboreda Morillo, Susana
Rodeiro Iglesias, Javier

Nº de páxinas: 224

ISBN: 978-84-8158-949-8

Edición

Vicerreitoría do Campus de Ourense - Campus Auga

www.uvigo.gal/campus/ourense-campus-auga

© Universidade de Vigo

Maquetación

Rodi Artes Gráficas, S. L.

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluíndo fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso previo e por escrito das persoas titulares do copyright.

Índice

Prólogo	6
Alternativas de aloxamento turístico na provincia de Ourense: análise da evolución recente da oferta e dos novos patróns de conduta da demanda nun contexto de irrupción do fenómeno das vivendas de uso turístico	9
Análise estatística do mercado de aloxamento turístico da provincia de Ourense dende unha nova perspectiva: a análise de datos compositivos	53
Detección automática de momentos de risco alérxico da poboación ourensá	75
Estudo do padrón de comportamento dos e das adolescentes ourensáns en relación co uso dos videoxogos	99
Evolución histórica da implantación dos videoxogos na sociedade ourensá dende os anos oitenta ata a actualidade	121
A escola que teño, a escola que quero. Un achegamento ás prácticas educativas e ás necesidades nos CRA de Ourense	143
Facer visible o invisible: habilidades para aprender dos e das escolares nos colexios rurais agrupados de Ourense	159
A represión económica na provincia de Ourense: unha aproximación a partir dos expedientes de responsabilidades civís e políticas	181
Dos lugares da represión franquista en Ourense: cara a unha cultura do recordo	199
