

Comprendiendo la dinámica poblacional de la procesionaria del pino en un contexto de cambio climático

Gabriel Sangüesa-Barreda^{1*},
 Hermine Houdas¹,
 Héctor Hernández-Alonso¹,
 Darío Domingo^{1,2},
 Cristina Gómez^{1,3},
 Francisco Rodríguez-Puerta¹,
 María E. Coca¹,
 Miguel García-Hidalgo¹,
 Lorena Caiza-Morales¹,
 Francisco Mauro¹,
 David Candel-Pérez¹,
 María A. García-López¹,
 José Miguel Olano¹

¹iuFOR-EIFAB, Universidad de Valladolid, Campus Duques de Soria, 42004 Soria.

²GEOFOREST-IUCA, Universidad de Zaragoza, C. Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza.

³Department of Geography and Environment, School of Geoscience, University of Aberdeen, Aberdeen AB24 3UE, Scotland, UK

* Autor de correspondencia:

Gabriel Sangüesa-Barreda
 Universidad de Valladolid, EIFAB-iuFOR
 Campus Duques de Soria s/n, 42004 Soria.
 E-mail: gabriel.sanguesa@uva.es

La procesionaria del pino es el insecto defoliador más abundante en los pinares mediterráneos. Esta especie es muy sensible al aumento de las temperaturas porque desarrolla su fase larvaria durante los meses de invierno. La procesionaria podría estar expandiéndose en latitud y altitud, mientras que las poblaciones más meridionales podrían reducirse por la mayor intensidad y frecuencia de olas de calor durante el verano. Comprender su dinámica poblacional pasada y presente es clave para desarrollar estrategias de gestión a medio y largo plazo. En este artículo presentamos las fronteras de conocimiento y los últimos avances científicos en esta línea de investigación.

Palabras clave: Cambio climático, dendrocronología, procesionaria, teledetección

1. LA PROCESIONARIA: FRONTERAS DE CONOCIMIENTO

La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*, Denis y Schiffermüller) es el principal defoliador de pinares y cedrales en toda la cuenca mediterránea, y uno de los insectos más conocidos por sus pelos urticantes y sus características procesiones. En España, una parte significativa de los pinares mediterráneos experimenta regularmente defoliaciones causadas por esta especie. Al igual que otros insectos forestales, los niveles poblacionales de la procesionaria siguen fluctuaciones cíclicas, alcanzando niveles máximos (*outbreak*

en inglés) cada 6-9 años. (Roques, 2015). Los factores que desencadenan los picos poblacionales de la procesionaria, al igual que en otros insectos defoliadores, es un área de investigación sumamente activa. Estos eventos extremos pueden defoliar bosques enteros, y se asocian a una combinación de factores que permiten explosiones demográficas repentinas: condiciones climáticas favorables y un ambiente propicio con un huésped adecuado, en un marco de distribución que permita que muchos árboles sean afectados simultáneamente. En este sentido, la estructura de la masa forestal es un factor que hace que las

replantaciones forestales sean más vulnerables a la procesionaria.

Otra de las cuestiones a investigar es cómo estos picos poblacionales descienden después de alcanzar niveles máximos. Algunos autores sugieren que la reducción drástica en el número de individuos podría deberse a la escasez y calidad del alimento, a cambios en las ratios de fecundidad o al aumento de la presión de depredadores, patógenos, parásitos y parasitoides, aunque no hay un consenso claro sobre el mecanismo exacto. La variabilidad espacial de estos factores hace que los picos poblacionales no sean sincrónicos entre regiones. Dado que esta especie desarrolla su actividad larvaria en invierno, se la considera muy sensible a los cambios en el clima, especialmente a los cambios en la temperatura. Esto subraya la necesidad de comprender mejor las dinámicas poblacionales de la procesionaria en un contexto de cambio climático (Roques, 2015).

2. CONOCER EL PASADO ES CLAVE PARA CONTEXTUALIZAR EL PRESENTE

Un aspecto recurrente en el estudio de la procesionaria es entender si actualmente estamos ante una fase de expansión de su rango de distribución, y si los picos poblacionales se están alcanzando con mayor frecuencia y con mayor intensidad. Para eso, necesitamos técnicas que nos permitan retroceder en el tiempo. Cuanto más amplia sea nuestra ventana temporal, mayor será la exactitud con la que podremos contextualizar la situación actual. En el caso de la procesionaria disponemos de tres fuentes de información complementarias: (i) los informes de las administraciones forestales sobre abundancia de procesionaria, (ii) la teledetección, el análisis de imágenes tomadas por sensores remotos, con su fortaleza en la componente espacial, y (iii) la dendrocronología, el estudio de los anillos de crecimiento de los árboles, con su importancia en la dimensión temporal.

Las administraciones forestales hacen un trabajo magnífico y todas cuentan con una red de seguimiento de daños en bosques. Estas re-



Fig. 1. Imágenes de defoliaciones de procesionaria en Cuenca (a), Parco Nazionale della Sila, Italia (b), Teruel (c), Parku Kombëtar i Qafë Shtamë, Albania (d). En todos los casos la especie huésped es *Pinus nigra* Arnold.



Gabriel Sangüesa

des se han mantenido en el tiempo, existiendo regiones y provincias que disponen de series temporales que abarcan varias décadas, acumulando unos datos excepcionales. El seguimiento de la procesionaria tiene un lugar privilegiado en estas redes. Su muestreo se hace al comenzar la primavera utilizando una escala semicuantitativa de 6 niveles de daños a nivel de rodal. Los parámetros que se observan incluyen la cantidad de bolsones, el grado de defoliación y si esta afecta a toda la masa forestal o se concentra únicamente en los bordes. En algunas redes de seguimiento el marco de monitoreo es constante, siempre se evalúan los mismos rodales, mientras que, en otros casos, solo se valoran los rodales con daños. Desde un punto de vista analítico, es mucho más interesante el uso de las redes del primer tipo, de marco constante y homogéneo en el tiempo, si bien son más costosas de mantener.

La teledetección permite detectar de forma sistemática y en grandes extensiones de territorio cambios en las copas a nivel de píxel, con una resolución que puede variar desde centímetros hasta varios cientos de metros. El análisis de series temporales de índices de vegetación, como el conocido NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* en inglés) u otros, permite detectar cambios en la cantidad y calidad del follaje en momentos del año en que únicamente concuerdan con la fase larvaria del ciclo biológico de la procesionaria. De este modo, podemos reconstruir los daños del pasado utilizando datos de distintos sensores satelitales que pueden llegar a abarcar los últimos 50 años. Otra de las fortalezas de la teledetección es que, una vez desarrollados los algoritmos, es posible evaluar los daños en tiempo cuasi-real. El uso de sensores activos como el LiDAR (Light Detection and Ranging), que emite su propia energía, y que pueden incorporarse en drones, nos permite evaluar con gran precisión los cambios morfológicos en las copas de los árboles afectados por la procesionaria. Por ejemplo, un estudio reciente de nuestro grupo de inves-

Fig. 2. Orugas de procesionaria adultas en Cuenca.

tigación detectó que, en promedio, la procesionaria redujo la cantidad de acículas en un 23 % durante un episodio de defoliación moderada, en comparación con árboles no afectados (Domingo et al., 2024a). Además, el uso de LiDAR permite abordar el efecto de la estructura de las masas forestales sobre la incidencia de la procesionaria, un conocimiento clave para definir las condiciones de plantación menos susceptibles de ser afectadas por este insecto.

La dendrocronología es otra de las técnicas que nos permite conocer la historia de defoliaciones de procesionaria a través del registro de sus huéspedes. Las defoliaciones de procesionaria conllevan la formación de uno o varios anillos de crecimiento reducidos. Esto tiene una explicación biológica: tras la defoliación invernal provocada por la procesionaria, gran parte de los recursos del árbol se destinan a la formación de una nueva copa en primavera. Como resultado de este cambio en la priorización de los recursos y la imposibilidad de la copa de capturar suficiente carbono, el crecimiento en grosor o secundario de ese año se ve mermado (Sangüesa-Barreda et al., 2014). El reto es poder discriminar estos anillos de crecimiento de otros causados por otros factores (p. ej. sequías). En este sentido se han realizado importantes avances. Los anillos de los años en que se producen ataques de procesionaria muestran mayores diferencias en el crecimiento a nivel de rodal, ya que habitualmente no todos los árboles sufren defoliaciones con la misma intensidad. Además, se observan cambios en parámetros funcionales discernibles de la madera, como la eficiencia del uso del agua, analizada mediante isótopos estables de carbono, que se reduce en los años con procesionaria, debido al mayor ratio albura/acículas. Por otro lado, en los años de sequía, la eficiencia del uso del agua aumenta, lo que permite discriminar entre ambos eventos (Houdas et al., 2024). A la par, la proporción de madera temprana, producida en primavera y comienzo de verano, y tardía, la madera de final de verano y otoño, difiere frente a lo que ocurre en años de sequía. La

combinación de varios de estos rasgos de los anillos de crecimiento de los árboles nos permite reconstruir los eventos de defoliación más importantes. Esto es especialmente importante porque nos abre la puerta a reconstruir la incidencia de la procesionaria a lo largo de varios cientos de años, la vida de los pinos mediterráneos más antiguos. Como ejemplo del potencial de este hallazgo, investigadores alemanes utilizando técnicas similares, han sido capaces de reconstruir 1200 años de incidencia de otro defoliador *Zeiraphera diniana* en los bosques de alerce de Suiza (Esper et al., 2007).

3. CAMBIOS EN EL RANGO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PROCESIONARIA

Numerosos registros indican una expansión latitudinal y altitudinal de la procesionaria. En Francia se ha observado una expansión hacia el norte desde la década de 1990, alcanzando áreas donde nunca se había observado antes (Robinet et al., 2014). También se han citado ascensos altitudinales en los Alpes italianos (Battisti et al., 2005) o en Sierra Nevada, España (Hódar y Zamora, 2004).

El aumento de la temperatura global también implica inviernos más suaves que favorecen la alimentación, desarrollo y finalmente supervivencia de las orugas. Este efecto mantenido en el tiempo conlleva la expansión de la especie a lugares que climáticamente antes eran desfavorables. Este nuevo contexto está creando escenarios inéditos, ya que a menudo provoca cambios de huésped debido a que la migración de las plantas ocurre en escalas temporales mucho mayores. Sin embargo, su expansión latitudinal hacia el norte tiene límites físicos, ya que otro factor primordial para los insectos es el fotoperiodo, es decir, el número de horas de luz. Este factor, ajeno al cambio climático, podría limitar su expansión hacia el norte.

La utilización de registros de los Servicios Forestales de varias Comunidades Autónomas nos ha permitido comprender otro proceso poco conocido y de gran relevancia para la distribución de esta especie. La procesionaria es muy sensible a las altas

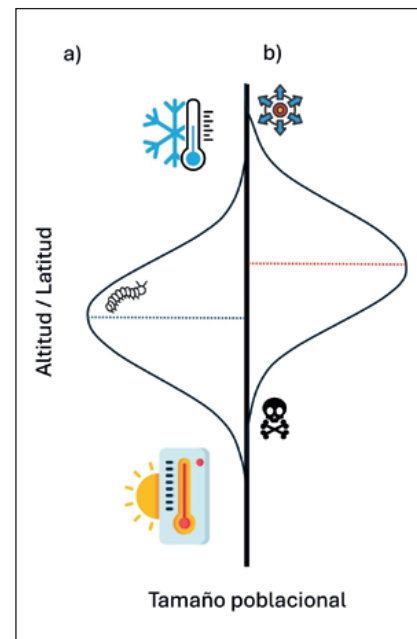


Fig. 3. Ilustración sobre los cambios en la distribución de la procesionaria del pino. (a) Situación en la que las bajas temperaturas limitan su ascenso en altitud y latitud, y las altas temperaturas limitan su distribución en el sur. (b) Nuevo escenario climático en el que las temperaturas invernales más altas favorecen su expansión en altitud y en el norte, mientras que las olas de calor provocan el retroceso de las poblaciones en el sur.

temperaturas u olas de calor durante el verano (Domingo et al., 2024b). Las altas temperaturas estivales reducen las tasas de eclosión de los huevos y la supervivencia en las primeras fases de desarrollo de la procesionaria. Esto implica una menor cantidad de orugas al comienzo del periodo de defoliación, reduciendo sus poblaciones. Aunque este mecanismo se conocía experimentalmente, nunca se había mostrado su impacto con datos a gran escala espacial. Se ha observado además que su impacto en la demografía de la especie es de igual intensidad, aunque en sentido opuesto, al de las temperaturas invernales más benignas. De esta forma, en un escenario en el que las olas de calor sean más frecuentes e intensas podemos encontrar un retroceso de la especie en el límite sur.

El nuevo escenario climático y la composición de especies de los bosques mediterráneos, en los que abundan las distintas especies de pinos ibéricos, así como otras especies alóctonas muy susceptibles (pino insigne, cedros...), apuntan a



cambios en la dinámica poblacional de la especie. Gestionar los picos poblacionales de la procesionaria es un gran reto para los gestores forestales, especialmente por sus llamativas defoliaciones que impactan a la sociedad y los efectos adversos para personas y animales domésticos. En todo caso, tenemos que conocer con exactitud qué está ocurriendo y por qué ocurren estos cambios, para así poder elaborar predicciones más detalladas a escala regional o local que nos permitan tomar decisiones a medio y largo plazo.

Conocer con precisión las dinámicas regionales y locales de esta especie requiere de más información y, para ello, resulta especialmente importante la combinación del monitoreo con herramientas que permitan la reconstrucción de su actividad pasada. Además, es igualmente importante comprender cómo responden los árboles a las defoliaciones y cómo interactúan con otros factores de estrés, cada vez más frecuente, como la sequía.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en las actividades de difusión de los proyectos PROWARM (PID2020-118444GA-I00) financiado por MICIU/AEI//10.13039/501100011033 y OUTBREAK (VA171P20) financia-

do por la Junta de Castilla y León. Hermine Houdas contó con apoyo de un contrato predoctoral (PRE2021-098278) financiado por el MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y ESF “Investing in your future”, y Darío Domingo tuvo el apoyo del contrato European Union-NextGeneration EU Margarita Salas (MS-240621). Agradecemos la colaboración de todos los técnicos de Andalucía, Aragón,

Islas Baleares, Cantabria, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Comunidad de Madrid, Comunidad Foral de Navarra, País Vasco y Región de Murcia, quienes nos han proporcionado datos o nos han ayudado en la consecución de los permisos necesarios para la realización de los muestreos y la localización de las zonas de estudio.

REFERENCIAS

- Battisti A, Stastny M, Netherer S, Robinet C, Schopf A, Roques A, Larsson S. 2005. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecol. Appl.* 15: 2084–2096.
- Domingo D, Gómez C, Mauro F, Houdas H, Sangüesa-Barreda G, Rodríguez-Puerta F. 2024a. Canopy structural changes in Black pine trees affected by pine processionary moth using drone-derived data. *Drones* 8.
- Domingo D, Vicente-Serrano SM, Gómez C, Sangüesa-Barreda G. 2024b. Summer heat waves could counterbalance the increasing incidence of pine processionary due to warmer winters in Mediterranean pine forests. *For. Ecol. Manage.* 555: 121695.
- Esper J, Büntgen U, Frank DC, Nievergelt D, Liebhold A. 2007. 1200 Years of regular outbreaks in alpine insects. *Proc. Biol. Sci.* 274: 671–9.
- Hodar A, Zamora R. 2004. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodivers. Conserv.* 13: 493–500.
- Houdas H, Olano JM, Hernández-Alonso H, Gómez C, García-Hidalgo M, Domingo D, Delgado-Huertas A, Sangüesa-Barreda G. 2024. Pine processionary moth outbreaks and droughts have different tree ring signatures in Mediterranean pines. *Dendrochronologia* 85: 126197.
- Robinet C, Rousselet J, Roques A. 2014. Potential spread of the pine processionary moth in France: Preliminary results from a simulation model and future challenges. *Ann. For. Sci.* 71: 149–160.
- Roques A. 2015. *Processionary moths and climate change: An update*. Springer, Orleans.
- Sangüesa-Barreda G, Camarero JJ, García-Martín A, Hernández R, de la Riva J. 2014. Remote-sensing and tree-ring based characterization of forest defoliation and growth loss due to the Mediterranean pine processionary moth. *For. Ecol. Manage.* 320: 171–181.