



J.A. Hódar

Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, E-18071 Granada, España
 Correo electrónico: jhodar@ugr.es

22

Incidencia de la procesionaria del pino como consecuencia del cambio climático: previsiones y posibles soluciones

Resultados clave

- Las erupciones poblacionales de procesionaria del pino tienen su origen en una combinación de clima adecuado y hábitats susceptibles.
- Las masivas repoblaciones llevadas a cabo con coníferas en las últimas décadas han exacerbado la incidencia de esta plaga.
- El control de estas erupciones poblacionales debe encaminarse a abordar sus causas y no tanto a paliar sus efectos.
- Tal abordaje pasa por una adecuada gestión que incremente la heterogeneidad y diversifique los pinares, naturales o plantados, haciéndolos menos susceptibles a su ataque.

Contexto

La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera: Notodontidae) ha sido y es una de las principales plagas forestales del entorno circunmediterráneo. En tiempos recientes, las masivas repoblaciones con diversas especies del género *Pinus* en dicho entorno, unidas a la tendencia al incremento de las temperaturas, han propiciado un incremento de la extensión e intensidad de sus erupciones poblacionales, así como su aparición en zonas donde su presencia anterior era inexistente o nula (Battisti et al. 2005), algo previsto desde hace tiempo para la mayoría de las plagas forestales (Netherer & Schopf 2010). A la extensión del problema de sanidad forestal se une además uno de salud pública, ya que las larvas de procesionaria son urticantes, y pueden causar serios problemas sanitarios a la población en riesgo (Vega et al. 2011).

La polilla de la procesionaria emerge en verano, y apenas vive uno o dos días como mariposa. Tras el apareamiento la hembra hace su puesta en las acículas de un pino, y 30 ó 40 días después nacen las orugas, generalmente en los meses de agosto y septiembre. Las larvas permanecen agrupadas, cuando reposan o cuando se alimentan, y al llegar el invierno construyen sus llamativos nidos de seda blanca, que les permiten superar los fríos invernales. Tras pasar por cinco estadios larvarios, entre febrero y abril descienden del árbol, forman las conocidas “procesiones” y se entierran finalmente en el suelo, donde pasan a la fase de crisálida. En verano las crisálidas eclosionan y surgen de nuevo las polillas, que cierran el ciclo. Así pues, a diferencia de los lepidópteros e insectos más conocidos, que suelen tener sus fases larvarias en primavera-verano, la procesionaria cubre sus etapas larvarias en invierno, y esta es una de las razones por las que es tan sensible a los incrementos de temperatura. Otra particularidad de gran importancia en la dinámica poblacional es que, aunque en general la especie se comporta como univoltina (esto es, que tiene una generación al año), un cierto porcentaje de las crisálidas no emerge como polilla en su primer verano, sino en alguno de los siguientes (hay registradas diapausas de hasta nueve años), lo que dificulta mucho su control.

Aunque la defoliación por la procesionaria es visualmente impactante, en realidad sus efectos finales sobre los pinos atacados son limitados. La defoliación invernal es menos dañina para los pinos que la estival, y como consecuencia la procesionaria rara vez provoca la muerte del árbol atacado; incluso la reducción de crecimiento, muy espectacular a corto plazo (Jacquet et al. 2012), suele ser transitoria (Palacio et al. 2011, Linares et al. 2014). Sólo en combinación con otras plagas o estreses abióticos (sequías), o cuando se da de forma reiterada sobre el mismo árbol los efectos son realmente negativos. Una intensificación de estos estreses sí podría crear una

situación bastante negativa: en España casi la mitad de los bosques españoles están constituidos por coníferas, total (34,5%, muy mayoritariamente pinos) o parcialmente (19.1%, mezclados con frondosas, IFN3 1997-2007), y prácticamente todos ellos, en razón de las condiciones climáticas en la península ibérica, son susceptibles de ser atacados por la procesionaria (Montoya & Hernández 1998). Esto da una idea de las dimensiones del problema que representa la procesionaria para la gestión de estos bosques. Pero los países circunmediterráneos vecinos al nuestro no son una excepción, y así Francia, Italia, Turquía o Portugal están afectados por problemas similares al nuestro. Urge, por lo tanto, encontrar soluciones comunes frente a un mismo problema.

Las estrategias de lucha contra la procesionaria han pasado de un uso intensivo de insecticidas (del DDT al diflubenzurón, pasando por el Btk) a mediados del siglo XX a procedimientos mucho menos agresivos y enmarcados en programas de lucha integrada en la actualidad. Programas perfectamente establecidos como el de lucha integrada contra la procesionaria del pino en Andalucía (en funcionamiento desde 1994), requieren del uso de fumigaciones aéreas en apenas el 6% en promedio anual (datos 1998-2012 sobre un total de 780000 ha; Rodríguez-Reviriego 2013) de la superficie de pinar, en combinación con otras estrategias menos agresivas como la eliminación manual de bolsones, o la colocación de cajas anidaderas para favorecer a aves insectívoras, y trampas de feromona. En cualquier caso, la utilidad de las fumigaciones está en discusión, revelándose claramente dependiente de los objetivos que persiga la gestión del bosque (Aimi et al. 2006, Gatto et al. 2009). Por otro lado, la propia eficacia de las fumigaciones como controladoras de la plaga ha sido puesta en entredicho (Cayueta et al. 2011), ya que no representan una reducción en la incidencia de la defoliación mayor de la que de por sí presenta la infestación en su dinámica cíclica natural.

Durante los últimos 15 años se han llevado a cabo una serie de estudios, observacionales y experimentales, en el Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada, con el fin de dilucidar los factores que determinan las erupciones

poblacionales periódicas de la procesionaria del pino. A continuación se describen brevemente los resultados de dichos estudios y las conclusiones que pueden extraerse de ellos, así como las estrategias que pueden proponerse para una mejor mitigación de los previsible efectos que el cambio climático tendrá en su incidencia.

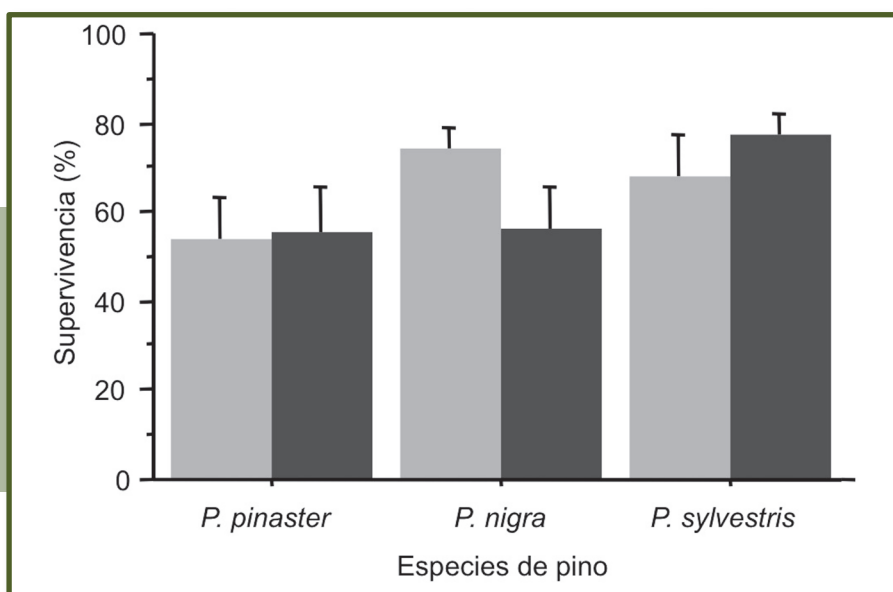
■ Resultados y Discusión

Hay cuatro aspectos fundamentales de la biología de la procesionaria que pueden ayudar a entender su dinámica cíclica y su eventual irrupción como plaga: la relación con la planta hospedadora, la interacción con los depredadores y parasitoides, la capacidad para sobrevivir en diapausa en el suelo como pupa, y la relación de su trayectoria poblacional con diferentes factores climáticos. Todos ellos pueden ser potencialmente alterados por el cambio climático, en particular por el incremento de las temperaturas y la alteración de los patrones de precipitación.

La interacción procesionaria-pino

Los pinos disponen de una capacidad de respuesta limitada para defenderse de la procesionaria. Tras un episodio de defoliación, los cambios en la calidad nutritiva de las acículas experimentados por los árboles fueron escasos. Aparte de un leve incremento en el contenido de nitrógeno en *P. sylvestris*, los pinos defoliados muestran unos parámetros de calidad como alimento (nitrógeno, fenoles, taninos, terpenos) indistinguibles de los pinos no defoliados. Tanto es así que las variaciones anuales no achacables a defoliación, o la simple variabilidad entre individuos, son bastante más amplias que el supuesto efecto de la defoliación en la química de las acículas. Por otro lado, las tres especies de pino examinadas (*P. sylvestris*, *P. nigra* y *P. pinaster*) respondieron en general del mismo modo, apuntando que los pinos basan más su defensa química en defensas constitutivas (aquellas presentes sin que medie ataque previo de herbívoros) que en inducibles (las que incrementan su cuantía tras sufrir la planta herbivorismo). Esto se ve corroborado en que la supervivencia de las larvas de procesionaria hasta

■ Figura 1.



▲ Figura 1. Supervivencia (media \pm 1 error estándar) hasta segundo instar de las larvas de procesionaria alimentadas con pinos control (barras blancas) y defoliados (barras oscuras).

Fuente: Modificado de Hódar et al. (2012b).

segundo instar no muestra diferencias significativas ni entre las tres especies de pino ni entre pinos controles y pinos defoliados (Fig. 1). La constancia en la respuesta de las tres especies de pino y el mayor peso de las defensas constitutivas frente a las inducibles sugiere que esta interacción va a ser poco afectada por la alteración del marco climático, aunque está por ver cómo responderían los pinos a la defoliación en una situación más estresante (mayores temperaturas, menor precipitación) que la actual.

La interacción procesionaria-depredadores y parasitoides

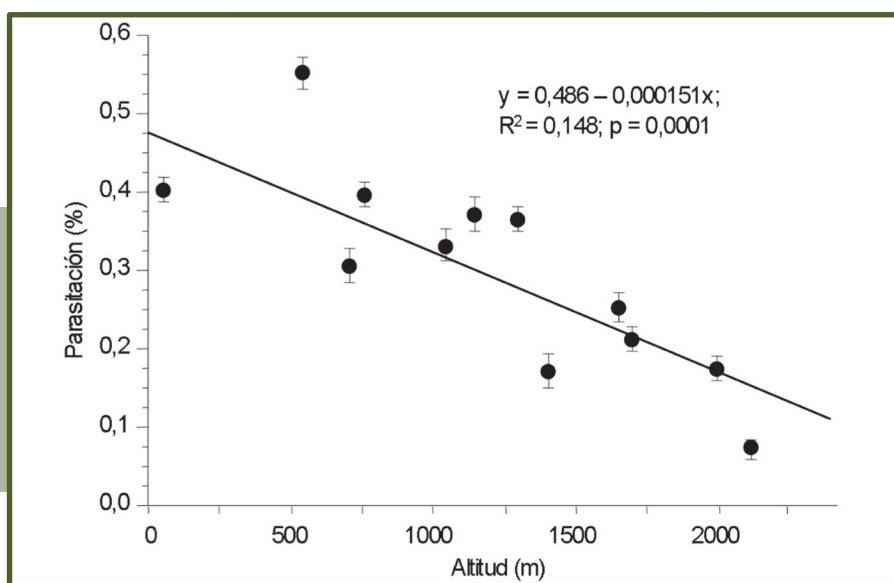
Los depredadores más habituales de las puestas de procesionaria son los saltamontes efipigéridos, que en algunos años y zonas pueden consumir más de la mitad de las puestas. En Sierra Nevada, donde el depredador más abundante es *Steropleurus andalusius*, la tasa de depredación osciló, en los dos años de estudio y en las tres parcelas, entre el 0 y el 25%. Mediante un experimento de adición de puestas se comprobó que los efipigéridos no muestran ningún tipo de respuesta numérica frente a la variación en densidad de las puestas de procesionaria. Asimismo, no hay una relación clara entre densidad de puestas y densidad de efipigéridos, siendo la de éstos máxima en parcelas con densidad de puestas intermedia y en cambio estuvieron casi ausentes en parcelas con muy alta densidad de puestas (Hódar et al. 2013).

Un análisis de uso del hábitat por parte de los efipigéridos sugiere que el consumo de puestas de procesionaria, aunque ocasionalmente elevado, al menos para *Steropleurus andalusius* es un subproducto de su selección de hábitat. Los machos de esta especie suben a matorrales y árboles para estridular y atraer a las hembras, y éstas suben a esos mismos árboles y arbustos para aparearse. Cuando el árbol escogido es un pino, pueden encontrar puestas de procesionaria y si es así las consumen, pero de hecho otros árboles y arbustos son usados tanto o más que los pinos. Un análisis de selectividad de microhábitat indica que los pinos no son usados por encima de su disponibilidad, al igual que ocurre con las principales

especies de arbustos disponibles. Todo esto sugiere que los efipigéridos, como depredadores generalistas que son, tendrían poca utilidad como controladores de las plagas de procesionaria: una vez que la densidad de procesionaria sobrepasa un determinado nivel escaparían del control de los efipigéridos. Sin embargo, sí que pueden resultar un valioso mantenedor de las poblaciones de procesionaria a bajas densidades, merced a su elevada densidad y su ocasionalmente elevada tasa de consumo (Klemola et al. 2002).

El tamaño del huevo de procesionaria permanece bastante constante entre años y entre zonas. El número de huevos por puesta es algo más variable, aunque es difícil establecer un patrón claro; tan sólo hay una cierta tendencia a que las puestas sean más grandes a mayor altitud. Sí hay, por contra, un claro patrón en la intensidad de parasitismo en los huevos: a mayor altitud, menor parasitación. El porcentaje puede variar desde un 50% de huevos parasitados en cotas bajas hasta casi cero por encima de los 2000 m de altitud (Fig. 2). Este patrón se debe tanto a la identidad de los parasitoides como a su abundancia. A cotas bajas aparecen dos parasitoides diferentes, *Ooencyrtus pityocampae* y *Baryscapus servadei*, el primero parasitoide generalista y el segundo bastante específico de la procesionaria. *Baryscapus* es muy común en cotas bajas pero se vuelve bastante raro a partir de 1500 m de altitud, y *Ooencyrtus*, aunque llega a las cotas más elevadas, muestra un claro descenso en abundancia conforme incrementa la altitud. Es posible que en las cotas más elevadas los parasitoides tengan más dificultades para tolerar las condiciones ambientales o para encontrar alimento (y en el caso de *Ooencyrtus*, hospedadores alternativos). En todo caso, está por ver cómo se reajusta esta interacción en el contexto de incremento de temperatura en que nos encontramos. Aparentemente, mientras que la procesionaria ha conseguido establecerse bien en las cotas más elevadas (es allí donde hay una mejor relación entre variables climáticas y defoliación, ver apartado 3.4), no ocurre así con sus parasitoides de huevos, lo que limitaría su capacidad como controladores en estas cotas donde su concurso es precisamente más necesario.

■ Figura 2.



▲ Figura 2. Variación en la tasa de parasitación en las puestas de procesionaria a lo largo de varios gradientes altitudinales en la provincia de Granada. Cada punto (media \pm 1 error estándar) representa la tasa promedio de las parcelas a la misma altitud y de los cuatro años de estudio (2008-2011), para un total de 1727 puestas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos no publicados.

La capacidad de la procesionaria para sobrevivir en diapausa en el suelo

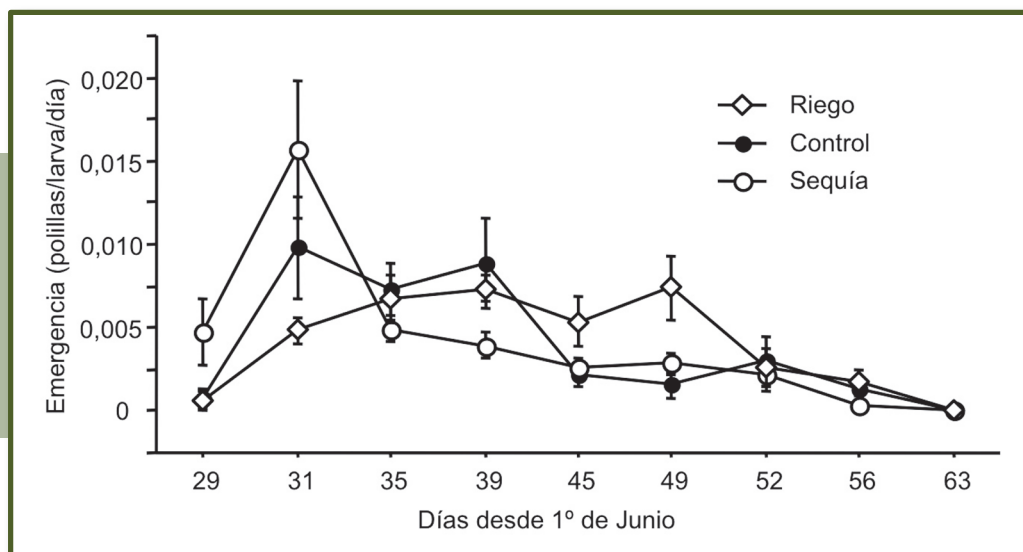
La procesionaria pupa en el suelo y, habitualmente tras varias semanas de metamorfosis, emerge como mariposa dentro del mismo año calendario en que se enterró como larva. Pero hay un cierto porcentaje de pupas que no emergen el mismo año de enterramiento, sino en años sucesivos, y esta reserva de individuos permite sortear mortalidades masivas en los inviernos en que las larvas no se desarrollan bien. Usualmente se admite que el porcentaje de pupas en diapausa prolongada es mayor cuanto más frío es el sitio, lo que en nuestro caso equivaldría a mayor altitud. Sin embargo, en enterramientos experimentales realizados en una zona relativamente elevada (1650 m de altitud) de Sierra Nevada el 95% de las polillas emergieron el mismo verano del enterramiento, y el porcentaje de pupas que alcanzaron el tercer verano en diapausa apenas llegó al 5% (en los Alpes menos del 5% emerge el año de enterramiento, Aimi et al. 2006). Normalmente se atribuye la entrada en diapausa pupal prolongada a la combinación entre períodos hábiles e inhábiles para la alimentación de las larvas (Démolin 1969a), aunque aún no está del todo establecido.

Los enterramientos experimentales ofrecieron otro tipo de datos que resultaron de gran interés con vistas a diseñar estrategias de control. Las larvas enterradas apenas sobrevivieron cuando el enterramiento tenía lugar en bosque cerrado, y se redujo mucho su supervivencia en enterramientos bajo matorral, en comparación con el suelo desnudo. Esto se corresponde con la tendencia de la procesionaria de buscar terrenos despejados para enterrarse. Posiblemente la existencia de patógenos como el hongo *Cordyceps militaris* o depredadores (nematodos, otros artrópodos) sea mayor bajo cobertura vegetal que en suelo desnudo, amén de la menor

temperatura en el suelo bajo dicha cobertura, que debe retrasar la actividad metabólica en un proceso tan exigente como la metamorfosis. Por otro lado, dentro de los enterramientos experimentales en suelo desnudo, la supervivencia de pupas y emergencia de polillas no varió en número cuando se incrementaba o se disminuía la humedad en el suelo respecto al tratamiento control, pero sí cambiaba la fenología de emergencia de las polillas, siendo más temprana cuanto menor era la humedad del suelo. Aunque en los tres tratamientos hubo emergencia de polillas durante todo el verano, la mayor tasa de emergencia en el tratamiento de sequía se adelantó casi un mes con respecto al del tratamiento de riego (Fig. 3, Hódar et al. 2012b). Dado que el tiempo que transcurre entre la puesta y el nacimiento de las larvas es bastante fijo, y que las larvas recién nacidas son las más sensibles a las condiciones climáticas y a la calidad del alimento disponible, una diferencia de un mes en el pico fenológico supone un cambio radical en las posibilidades de supervivencia.

Un futuro incremento de las temperaturas, acompañado por una reducción de la precipitación, nos aproximaría al escenario de sequía simulado en nuestro experimento, lo que supondría que las larvas, al nacer antes, podrían llegar en un estadio más avanzado de desarrollo al comienzo del invierno, y por tanto presumiblemente en mejores condiciones para superarlo. Sin embargo, es necesario conocer cómo afectarían esos mismos cambios a la planta, de cuya calidad depende la supervivencia de las larvas recién nacidas (Hódar et al. 2002, 2004). Un verano más cálido y más seco permitiría un desarrollo más temprano de las hojas del año, lo que incrementaría la supervivencia de la procesionaria, que prefiere hojas maduras, por lo que *a priori* podríamos anticipar que se verán también favorecidas en este sentido.

■ Figura 3.



▲ Figura 3. Fenología de emergencia (medias \pm 1 error estándar) de las polillas de procesionaria en función del tratamiento de humedad en los enterramientos forzados en el Jardín de la Cortijuela. Riego: adición de 12 mm de agua por semana de abril a octubre; control: sin alteración del patrón natural de lluvia; sequía: reducción un 30% de la lluvia recibida de abril a octubre.

Fuente: Modificado de Hódar et al. (2012b).

La relación entre la trayectoria poblacional de la procesionaria y diferentes factores climáticos

Pese a la reconocida incidencia del clima en las plagas de procesionaria, e incluso de los modelos fenológicos basados en las condiciones ambientales (Démolin 1961a, b), ha habido pocos intentos dirigidos específicamente a relacionar variables ambientales concretas con la dinámica poblacional de la procesionaria (pero ver Hódar & Zamora 2004, Hódar et al. 2012a). Para Sierra Nevada se ha encontrado una buena relación entre la temperatura mínima invernal y la incidencia de procesionaria al invierno siguiente (Hódar & Zamora 2004). A una escala más amplia, la de Andalucía, la procesionaria suele tener picos de incidencia cada cinco-seis años, lo que en principio se ajusta mucho mejor a un ciclo dirigido por factores biológicos que

climáticos (Hódar & Zamora 2009). Sin embargo, los mínimos poblacionales de procesionaria en Andalucía para el período 1993-2007 han coincidido con años de NAO (Oscilación Atlántico Norte) invernal negativa, y la correlación entre los valores de NAO y la ulterior defoliación es tanto mayor cuanto mayor es la altitud a la que se encuentra el pinar (Hódar et al. 2012a). No está claro, pues, qué es realmente lo que determina la dinámica poblacional de la procesionaria. En conjunto, una hipótesis de trabajo puede ser que los años de NAO invernal negativa, que en nuestra región se corresponden con inviernos suaves y húmedos, desencadenan la explosión poblacional, dándose la máxima incidencia de defoliación uno o dos inviernos más tarde. Tras el pico, el efecto combinado de inviernos más fríos, pinos previamente defoliados (de peor calidad como alimento), e incremento de las poblaciones naturales de depredadores y parasitoides, retornan la población a niveles crónicos.

■ **Figura 4.**



▲ **Figura 4.** Defoliación masiva por procesionaria del pino en el pinar de la Cortijuela del Trevenque (Parque Nacional de Sierra Nevada), 2010/05/21. El pinar incluye pino albar (*Pinus sylvestris*) y salgareño (*P. nigra*). A pesar de la espectacularidad de las fotos, no hubo mortalidad asociada, y el pinar se recuperó perfectamente. (Fotos: J.A. Hódar).

Fuente: Jose Antonio Hódar.

■ Recomendaciones para la adaptación

Todas las predicciones apuntan a que las plagas como la procesionaria van a incrementar su expansión y virulencia como consecuencia del cambio climático, y los estudios efectuados sugieren que los métodos tradicionales de control, como las fumigaciones o el control manual de bolsones, van a tener una efectividad limitada. Esto no los descarta para resolver situaciones puntuales, por ejemplo en zonas de alta actividad humana, pero sí como opciones de aplicación general. El control no debe efectuarse mediante un ataque directo (químico o biológico) a la plaga, sino reduciendo su capacidad de crecimiento mediante manejos adecuados del hábitat. En particular, la diversificación de las masas homogéneas de pinar que cubren nuestros montes es la estrategia más propicia, ya que por un lado restaría hospedadores adecuados a la plaga y por otro ofrecería sustento alternativo a depredadores y parasitoides, además de reducir la efectividad de la diapausa prolongada en suelo (ya que la supervivencia de las pupas es menor en todo lo que no sea suelo desnudo). En este sentido, la reducción de densidad y la diversificación y heterogeneidad de los pinares repoblados es la recomendación más general que puede darse para la futura gestión de estas masas arboladas.

■ Material suplementario

Casi todos los estudios aquí descritos se han llevado a cabo en el Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada, en concreto en las localidades de la Loma de Lanjarón y la Cortijuela del Trevenque, en la provincia de Granada. La Loma de Lanjarón es un gradiente homogéneo de suelo silíceo y exposición W, en el que hay diversas repoblaciones de pinar desde los 1000 m de altitud hasta los 2200; se han usado tres parcelas situadas a 1300, 1700 y 2100 m de altitud, y caracterizadas respectivamente por *Pinus pinaster*, *P. nigra* y *P. sylvestris*. El estudio de la diapausa en las pupas de procesionaria se efectuó en el Jardín de la Cortijuela del Trevenque, un antiguo vivero forestal vallado, de suelo calizo y situado a 1600 m de altitud, con *P. nigra* y *P. sylvestris* en los alrededores. Una descripción más detallada de los lugares y procedimientos puede encontrarse en Hódar et al. (2012b).

La interacción procesionaria-pino

Para estudiar la interacción planta-herbívoro entre la procesionaria y su planta nutricia, seleccionamos diez tríos de pinos, similares en altura y aspecto, en cada una de las parcelas de Lanjarón. En cada trío, uno de los pinos quedó como control, y a los otros dos se les añadieron bolsas de procesionaria hasta provocar su total defoliación. El invierno siguiente colocamos en cada pino seis puestas de procesionaria, y recogimos tanto la puesta como las larvas una vez que éstas llegaron a segundo instar. La supervivencia de las larvas se analizó entonces en relación con la especie de pino y el tratamiento (control vs defoliado) a que fue sometido. Además, de cada pino se recogieron, en el momento de su selección y durante la alimentación de las larvas, acículas del año en curso, que fueron analizadas para determinar su contenido en nitrógeno (análisis elemental), fenoles (Folin-Ciocalteu), taninos condensados (proantocianidina), y terpenos (cromatografía de gases).

La interacción procesionaria-depredadores y parasitoides

La actividad depredadora de los efipigéridos se estudió en las tres parcelas de la Loma de Lanjarón. En cada parcela se marcaron transectos en los que periódicamente registramos tanto efipigéridos como puestas de procesionaria, observando la relación numérica y fenológica entre ambas variables; también examinamos el uso del hábitat de los efipigéridos y lo comparamos con la vegetación disponible. Finalmente, en varios transectos incrementamos artificialmente el número de puestas de procesionaria y contabilizamos la respuesta numérica de los efipigéridos.

La actividad de los parasitoides de los huevos se examinó en un estudio de más amplia escala, consistente en recoger puestas ya nacidas en 18 parcelas en las provincias de Granada y Almería, abarcando un amplio abanico de condiciones ambientales: desde el nivel del mar hasta 2200 m de altitud y desde la costa hasta el interior frío de Granada (Hódar et al. 2012b). En cada parcela se recogieron, siempre que fue posible, 30 puestas por temporada (2008-2011). Las puestas se examinaron bajo lupa binocular, estimando el diámetro promedio de los huevos y contabilizando el número de huevos por puesta, éxito de nacimiento y tasa de parasitación. En el presente trabajo, la tasa de parasitación se calculó sumando los huevos depredados por parasitoides y los huevos no nacidos, ya que éstos usualmente están depredados por parasitoides que no llegan a término.

La capacidad de la procesionaria para sobrevivir en diapausa en el suelo

El estudio de la diapausa pupal se realizó mediante dos enterramientos forzados en el Jardín de la Cortijuela, uno con la humedad del suelo como variable, el otro con el microhábitat de enterramiento.

La instalación consistió en una serie de cuadrados o bloques de 2 x 2 m en los que, en otoño de 2009, enterramos cilindros de malla mosquitera (30 cm de profundidad, 15 cm de diámetro) con tierra. En primavera recogimos 8200 larvas durante el proceso natural del enterramiento de las larvas, y tras repartirlas en lotes de 50 larvas las asignamos aleatoriamente a las mallas. La parte superior de la malla podía cerrarse de modo que las mariposas que emergían quedaban encerradas hasta su recogida.

En el primer experimento, que incluía nueve bloques, excluimos el 30% del agua de lluvia recibida durante los meses de abril a octubre en tres de los bloques; regamos durante esos mismos meses con una cantidad equivalente a unos 12 mm de precipitación cada semana otros tres bloques; y finalmente dejamos tres bloques como control. Los nueve bloques estaban en una zona desprovista de vegetación. En cada bloque designamos seis mallas para contabilizar la emergencia de mariposas y cuatro para extracciones anuales que nos permitieron contabilizar las pupas que quedaban vivas de una temporada a otra. El experimento de hábitat fue idéntico al anterior, pero en lugar de tres tratamientos de modificación del agua que recibían, colocamos tres bloques en tres hábitats diferentes (sumando un total de nueve bloques): bosque de pinos, matorral, y claro o zona despejada.

La relación entre la trayectoria poblacional de la procesionaria y diferentes efectores climático

La Unidad de Red de Daños y Equilibrios, División de Planificación y Gestión de la Biodiversidad, de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, cuenta con un ejemplar programa de seguimiento de la incidencia de la procesionaria en los pinares andaluces, que permite la gestión y el control de esta plaga. Desde 1992, la incidencia de la procesionaria es registrada por los Agentes de Medio Ambiente en los rodales de pinar andaluces, definidos según características del terreno (orientación, altitud, especie de pino, etc.) que afectan directamente al comportamiento de la plaga. El grado de infestación de cada rodal se estima mediante una variable semicuantitativa que va desde 0, ausencia de daño por procesionaria, hasta 5, defoliación completa del rodal (Montoya & Hernández 1998). Estos datos constituyen una magnífica serie temporal por su extensión en el espacio y en el tiempo, y la hemos sometido a herramientas de análisis de series temporales (Hódar & Zamora 2009) y a análisis predictivos usando variables climáticas como determinantes de la dinámica poblacional de la procesionaria (Hódar et al. 2012a).

Agradecimientos

Los resultados aquí expuestos proceden del trabajo de campo y laboratorio financiado, entre otros, con los proyectos PROPINOL (PN22/2008) del OAPN, CONSOLIDER-MONTES (CSD2008-00040) del MICYT y GESBOME (P06-RNM-1890) de la Junta de Andalucía, pero las ideas desarrolladas son el resultado de la interacción y discusión con muchas personas, como (sin ánimo de ser exhaustivo y en perfecto desorden alfabético) Regino Zamora, Luis Cayuela, Lucía Torres Muros, Rodolfo Hernández, Gerardo Sánchez Peña, Andrea Battisti y Stig Larsson. La Red de Daños y Equilibrios de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Junta de Andalucía nos proporcionó acceso a las bases de datos del programa de seguimiento de la procesionaria en Andalucía. Dos revisores anónimos contribuyeron a una mejora en el manuscrito. Finalmente pero no en último lugar, gracias a Asier Herrero y Miguel Ángel Zavala por invitarme a contribuir en esta obra.

Referencias bibliográficas

- Aimi A, Zocca A, Minerbi S, Hellrigl K, Gatto P, Battisti A (2006) The outbreak of the pine processionary moth in Venosta/Vinschgau: ecological and economic aspects. *Forest Observer* 2-3:69-80
- 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. *Ecological Applications* 15:2084-2096
- Cayuela L, Hódar JA, Zamora R (2011) Is insecticide spraying a viable and cost-efficient management practice to control pine processionary moth in Mediterranean woodlands? *Forest Ecology and Management* 261:1732-1737
- Demolin G (1969a) Bioecología de la “procesionaria del pino” *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidencia de los factores climáticos. *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* 12:9-24
- Demolin G (1969b) Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Annales de Sciences Forestières* 26:81-102
- Gatto P, Zocca A, Battisti A, Barrento MJ, Branco M, Paiva MR (2009) Economic assessment of managing processionary moth in pine forests: A case study in Portugal. *Journal of Environmental Management* 90:683-691
- Hódar JA, Zamora R, Castro J (2002) Host utilisation by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecological Entomology* 27:292-301
- Hódar JA, Zamora R (2004) Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodiversity and Conservation* 13:493-500
- Hódar JA, Zamora R, Castro J, Baraza E (2004) Feast and famine: previous defoliation limiting survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in Scots pine *Pinus sylvestris*. *Acta Oecologica* 26:203-210
- Hódar, JA, Zamora, R (2009) Influencia de los factores abióticos y bióticos en la defoliación por la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) en los pinares andaluces. *Actas del 5º Congreso Forestal Español*, Ávila (España), 21-25 Septiembre 2009
- Hódar JA, Zamora R, Cayuela L (2012a) Climate change and the incidence of a forest pest in Mediterranean ecosystems: can the North Atlantic Oscillation be used as a predictor? *Climatic Change* 113:699-711
- Hódar JA, Torres-Muros L, Senhadji K, Cayuela L, Zamora R. (2012b) Interacción planta-herbívoro y dinámica poblacional de la procesionaria del pino en el Parque Nacional de Sierra Nevada en el marco del cambio global. En: *Proyectos de investigación*

en *Parques Nacionales: 2008-2011*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. EGRAFSA, Madrid, págs. 387-406

Hódar JA, Torres-Muros L, Senhadji K (2013) Timing and intensity of bush-cricket predation on egg batches of pine processionary moth: no evidence of population control. *Agricultural and Forest Entomology* 13:204-211

IFN3 (1997-2007) *Tercer inventario Forestal Nacional*. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3.aspx>

Jacquet JS, Orazio C, Jactel H (2012) Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review. *Annals of Forest Science* 69:857-866

Klemola T, Tanhuanpää M, Korpimäki E, Ruohomäki K (2002) Specialist and generalist natural enemies as an explanation for geographical gradients in population cycles of northern herbivores. *Oikos* 99:83-94

Linares JC, Senhadji K, Herrero A, Hódar JA (2014) Growth patterns at the southern range edge of Scots pine: Disentangling the effects of drought and defoliation by the pine processionary caterpillar. *Forest Ecology and Management* 315:129-137

Montoya R, Hernández R (1998) *La procesionaria del pino. Plagas de insectos en las masas forestales españolas*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 67-84

Netherer S, Schopf A (2010) Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests – General aspects and the pine processionary moth as specific example. *Forest Ecology and Management* 259:831-838

Palacio S, Hernández R, Maestro-Martínez M, Camarero JJ. 2012. Fast replenishment of initial carbon stores after defoliation by the pine processionary moth and its relationship to the re-growth ability of trees. *Trees* 26:1627-1640

Rodríguez-Reviriego S (2013) Plan de lucha integrada contra la procesionaria del pino. Jornadas de Sanidad Forestal en el Monte Mediterráneo. 14 y 21 de mayo de 2013, Córdoba. Disponible en http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/montes/gestion_forestal_sostenible/equilibrios_biologicos/jornadas_sanidad_forestal/ponencias%2020%20dia/siete.pdf.

Vega JM, Moneo I, Ortiz JC, Palla PS, Sanchís ME, Vega J, Gonzalez-Muñoz M, Battisti A, Roques A (2011) Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in an adult population. *Contact Dermatitis* 64:220-228