

Com afecta el canvi global les comunitats de papallones?

Constantí Stefanescu

Catalan Butterfly Monitoring Scheme, Museu de Granollers-Ciències Naturals

HOW GLOBAL CHANGE AFFECTS BUTTERFLY COMMUNITIES? – Although the existence of the so-called sixth global extinction crisis seems beyond doubt, the enormous complexity of natural ecosystems makes it very difficult to obtain precise estimates of the rate at which biodiversity is being lost. One increasingly popular alternative to monitor the trends of biological diversity is the use of indicator groups, such as butterflies. In this article we give an overview of the Catalan Butterfly Monitoring Scheme, a project that was set up in 1994 with the aim of recording the temporal trends of butterfly populations in Catalonia (NE Spain). Our analysis shows that a substantial part of the country's butterfly fauna has undergone significant declines in the last 15 years. Habitat indicators, based on characteristic species, have also revealed that trends are actually associated with habitat types, with grassland and scrub specialists declining strongly but woodland specialists showing a marginal increase. There is ample evidence that changes in land use, one of the drivers of global change, have been largely responsible for these generally negative trends. Other studies have similarly shown that climatic warming is affecting Catalan butterfly species as well; for instance, by changing their phenology and geographical distribution. Although there is no direct evidence that these changes have already caused a loss of biodiversity, various theoretical studies suggest that climatic warming could soon become one of the strongest threats to our region, especially if the expected increase in aridity takes place.

Les estimes sobre la biodiversitat del planeta han estat sempre objecte d'una certa controvèrsia i es caracteritzen per un important grau d'incertesa (May, 1988). Actualment hi ha descrites prop de 2 milions d'espècies, de les quals poc més de la meitat pertanyen als insectes (Grimaldi i Engel, 2005). Moltes altres, però, encara no han estat descrites: a tall d'exemple, les estimes més fiables situarien el nombre total d'insectes al voltant dels 5 milions d'espècies (Gaston, 1991). Desgraciadament, una part substancial d'aquesta biodiversitat mai no arribarà a conèixer-se perquè sembla abocada a una inevitable extinció en les immediates dècades. La causa d'aquest panorama tan dramàtic és l'anomenat canvi global, un conjunt de factors d'origen antròpic que estan donant lloc a dràstiques alteracions dels ecosistemes amb devastadores conseqüències.

Entre els principals factors caldria esmentar la pèrdua i la fragmentació dels hàbitats, l'impacte de les espècies invasores, la sobre-explotació i el canvi climàtic (Diamond, 1989; Thomas C.D. *et al.*, 2004), però el que realment caracteritza el canvi global és que tots aquests factors actuen conjuntament, creant sinèrgies i provocant extincions recíproques o coextincions (Brook *et al.*, 2008; Dunn *et al.*, 2009). La magnitud del problema és certament preocupant. Per exemple, Thomas C.D. *et al.* (2004) van publicar una anàlisi del risc d'extinció com a conseqüència del canvi climàtic, basat en models d'embolcall climàtic i projeccions de dos escenaris de canvi climàtic.

Combinant dades de més de 1.000 organismes d'un ampli ventall de grups taxonòmics i regions biogeogràfiques van concloure que l'any 2050 entre el 18-35% de les espècies del planeta es trobaran sota un alt risc d'extinció a causa del canvi climàtic.

La pèrdua d'una fracció tan important de la biodiversitat pot comportar problemes molt greus en el funcionament dels ecosistemes. Aquests problemes, que tot just es comencen a identificar i quantificar en alguns casos, es relacionen amb el concepte dels serveis ecosistèmics que juguen alguns grups claus. Un exemple seria el declivi que han experimentat alguns grups d'himenòpters a Anglaterra i Holanda en les darreres dues dècades, i el declivi paral·lel de plantes amb reproducció creuada que depenen d'aquests himenòpters per a la pol·linització (Biesmeijer *et al.*, 2006).

En l'àmbit local que ens afecta més directament, una primera pregunta que lògicament ens hem de formular és si la situació a Catalunya és tan alarmant com plantegen aquests estudis de caire molt més general. Per poder-la respondre, necessitem sistemes precisos per mesurar l'evolució de la biodiversitat, i és amb aquesta idea que van néixer els programes de seguiment basats en grups bioindicadors. Aquests grups es caracteritzen per ser fàcils d'estudiar des del punt de vista metodològic, gaudir d'una popularitat suficient per poder involucrar un nombre elevat de persones en projectes de seguiment, i ser provadament sensibles als canvis ambientals d'índole diversa. D'altra banda, és important que in-



cloquin un nombre suficient d'espècies amb preferències ambientals diverses, de manera que el tàxon estudiat sigui representatiu del conjunt de l'ecosistema.

Programes de seguiment que utilitzen les papallones com a bioindicadors

La popularitat que han experimentat els programes de seguiment en les darreres dècades ha anat paral·lela a la consolidació de les papallones diürnes (els anomenats ropalòcers) com a grup model en aquests estudis. A part dels aspectes més pràctics (p. ex. la gran popularitat que han gaudit sempre entre els naturalistes i el seu innegable valor estètic), hi ha altres raons de pes que han ajudat a convertir-les en un dels grups escollits. Tal com comentàvem al principi, els insectes destaquen per sobre de qualsevol altre tàxon com el component essencial de la biodiversitat; de fet, dominen àmpliament no només en termes de riquesa sinó també de biomassa i de nombre de relacions interespecífiques entre els diferents elements que formen part dels ecosistemes terrestres. En aquest sentit, sembla evident la necessitat d'incloure algun grup d'insectes en un programa de seguiment que pretengui conèixer les tendències generals d'aquests ecosistemes (Thomas, 2005). A més, com passa també amb molts altres insectes amb cicles biològics curts, però complexos, els ropalòcers tenen requeriments ecològics molt estrets i són particularment sensibles a les alteracions de l'hàbitat. No és d'estranyar, doncs, que responguin de forma més ràpida i intensa que d'altres grups que tradicionalment també es consideren bons bioindicadors (Thomas J.A. *et al.*, 2004; Krauss *et al.*, 2010).

Aquest conjunt d'arguments són els que justifiquen el naixement del primer programa de seguiment de papallones al Regne Unit l'any 1976, conegut com a British Butterfly Monitoring Scheme, i l'adopció d'aquesta metodologia tan simple i efectiva en projectes similars endegats poc després en d'altres països europeus (van Swaay *et al.*, 2008).

El Catalan Butterfly Monitoring Scheme o CBMS

L'any 1994 es va posar en funcionament el programa de seguiment de papallones diürnes a Catalunya, conegut també com a CBMS. Des d'aleshores el CBMS s'ha anat consolidant i ampliant, i actualment constitueix una xarxa de seguiment a gran escala al territori català, a Andorra i també a les Balears (www.catalanbms.org).

El CBMS es basa en una metodologia molt senzilla, i alhora divertida, consistent en la repetició setmanal de comptatges visuals dels adults de papallones (entre març i setembre),

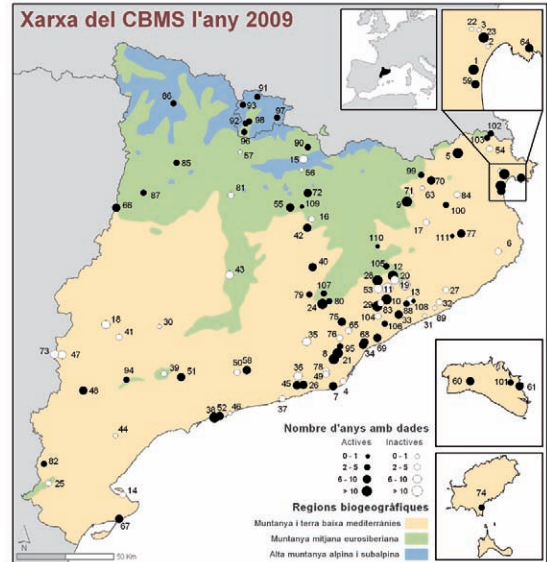


Figura 1. Situació geogràfica de les estacions que integren la xarxa del CBMS (1994-2009). 1 El Cortalet, 2 La Rubina, 3 Vilaüt, 4 Cal Tet, 5 Darnius, 6 Fitor, 7 El Remolar, 8 Can Ferriol, 9 Can Jordà, 10 Can Liro, 11 Santa Susanna, 12 El Puig, 13 Can Riera, 14 La Marquesa, 15 Fontllebrera, 16 Olvan, 17 La Barroca, 18 Timoneda d'Alfès, 19 Can Prat, 20 Turó de l'Home, 21 Turó d'en Fumet, 22 Closes de l'Ullal, 23 Closes del Tec, 24 Coll d'Estenalles, 25 El Mascar, 26 Vallgrassa, 27 Bosc de Valldemaria, 28 Pla de la Calma, 29 Marata, 30 L'Arbeca, 31 Turó de Can Tiril, 32 Can Vinyals, 33 Ca l'Arenes, 34 Can Miravitges, 35 Martorell, 36 Olesa de Bonesvalls, 37 Vilanova i la Geltrú, 38 Punta de la Móra, 39 Prades, 40 Sallent, 41 Mas de Melons, 42 Gironella, 43 Torà, 44 Tivissa, 45 Olivella, 46 Torredembarra, 47 Granja d'Escarp, 48 Sebes, 49 Sant Boi, 50 Talaia del Montmell, 51 El Pinetell, 52 Desemb. del Gaià, 53 Vallforners, 54 Rabós, 55 Campllong, 56 Grèixer, 57 Seu d'Urgell, 58 Cal Puntarri, 59 Mig de dos rius, 60 Barranc d'Algendar, 61 S'Albufera des Grau, 63 Sant Jaume de Llierca, 64 Montjoi, 65 Santiga, 66 Mont-rebei, 67 La Tancada, 68 La Conreria, 69 Sant Mateu, 70 Sales de Llierca, 71 Godomar, 72 La Nou de Berguedà, 73 Aiguabarreig, 74 Sal Rossa, 75 Can Vilar, 76 UAB, 77 Sant Daniel, 78 Sant Ramon, 79 Oristrell, 80 Vall d'Horta, 81 Alinyà, 82 Estrets d'Arnes, 83 Cal Carro, 84 Vilert, 85 Gerri de la Sal, 86 Sant Maurici, 87 Tremp, 88 Olzinelles, 89 Pineda, 90 Estoll, 91 Sorteny, 92 Enclar, 93 Comapedrosa, 94 Margalef, 95 Torre Negra, 96 Fontaneda, 97 Pessonns, 98 Rec del Solà, 99 Sadernes, 100 Banyoles, 101 Santa Catalina, 102 Alberes-1, 103 Alberes-2, 104 La Roca, 105 Viladrau, 106 Argentona, 107 Mura, 108 Can Ponet, 109 Folgueroles, 110 Tramvia de sang,

al llarg d'un recorregut fix o itinerari. Per estandarditzar i facilitar els comptatges, només es tenen en consideració les papallones que apareixen a 2,5 m als costats i al davant de l'observador. Els itineraris tenen una longitud d'entre 1,5-2 km, i es divideixen en un cert nombre de seccions que es corresponen amb diferents tipus d'hàbitat. Aquestes seccions es caracteritzen a partir de les comunitats vegetals dominants i, per tant, es poden agrupar a partir dels hàbitats que representen.



La xarxa del CBMS comprèn actualment al voltant de 110 estacions, repartides per tot Catalunya, Menorca i Eivissa. A Andorra existeix un seguiment paral·lel (el BMSAnd), molt més recent i reduït, que, a l'hora del tractament de les dades, s'integra plenament dins del CBMS. Encara que la distribució de les estacions al conjunt de la xarxa no és aleatòria i presenta biaixos evidents, actualment hi ha una cobertura acceptable dels grans ambients del territori (fig. 1).

A partir dels comptatges a les diferents estacions, al final de la temporada es calculen uns índexs relatius d'abundància per espècie, que reflecteixen el seu nivell poblacional en cada localitat, i que es combinen pel conjunt de la xarxa per generar un índex anual d'abundància de l'espècie a Catalunya. Per al càlcul d'aquest índex regional s'utilitza el programa informàtic TRIM, especialment dissenyat per al tractament de dades de monitoratge i adoptat com a eina estadística estàndard en molts altres projectes (p. ex. a les altres xarxes europees de BMS i de seguiment d'ocells). Entre d'altres avantatges, el TRIM permet corregir parcialment el biaix en la distribució dels punts de mostrejatge, donant més o menys pes a les diferents estacions.

L'evolució de l'índex regional al llarg dels anys reflecteix la tendència temporal de les espècies més comunes, una informació bàsica per diagnosticar l'estat dels ecosistemes i detectar aquelles situacions que comporten un risc per a la conservació de la biodiversitat.

Tendències en les poblacions de les papallones catalanes en els darrers 15 anys

La informació recollida pel CBMS permet respondre, encara que sigui de manera parcial i limitada, la pregunta que ens formulàvem a l'inici d'aquest article: la situació de crisi de la biodiversitat a Catalunya és tan greu com apunten tots els treballs que es fan a una escala més general?

La nostra perspectiva es basa en una anàlisi recent que hem fet de les dades recollides des de 1994 a 2008 en 95 estacions (Stefanescu *et al.*, 2010a). En conjunt, aquestes dades corresponen a una àmplia varietat paisatgística i a una bona representació dels principals ambients terrestres del país (fig. 1). Tot i que hi ha hagut una certa renovació en les estacions de la xarxa, una part important s'han mantingut actives des de l'inici del projecte (p. ex., a data de 2008, 37 transectes disposaven de sèries de set anys o més).

Per evitar tendències poc representatives del conjunt del territori, l'anàlisi s'ha restringit a 78 espècies relativament comunes (aproximadament un 40% de la fauna catalana) i presents en un nombre elevat dels itineraris. La influència de l'hàbitat sobre les tendènci-

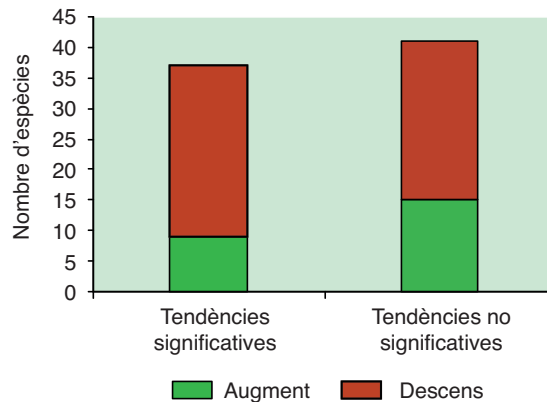


Figura 2. Tendències positives (augments) i negatives (descensos) en 78 espècies de ropalòcers a Catalunya i Andorra en el període 1994-2008. Es diferencien les tendències que han estat classificades pel programa TRIM com a significatives i com a no significatives.

es observades s'ha estudiat a partir de dues aproximacions diferents. Primerament s'ha calculat un índex d'especialització de l'hàbitat (IEH), que es relaciona amb el nombre d'hàbitats ocupats per una espècie i el grau de preferència envers alguns d'ells. Els valors baixos de l'índex corresponen a les espècies més generalistes, que es troben homogèniament repartides pels diferents hàbitats, i els valors alts a les especialistes, que concentren la seva densitat en un tipus d'ambient particular. La possible relació entre les tendències poblacionals de les papallones i l'especialització de l'hàbitat s'ha testat a partir de la regressió lineal entre els pendents de les tendències proporcionats pel programa TRIM i els valors dels índexs IEH. En una segona fase, també s'ha investigat si les tendències poblacionals estan lligades o no a un tipus d'ambient determinat. Amb aquest objectiu s'han utilitzat els anomenats indicadors d'hàbitat, que combinen de manera simple les dades anuals d'una sèrie d'espècies característiques d'uns pocs tipus d'ambients (Stefanescu *et al.*, 2008). En concret, s'ha treballat amb un indicador de prats i espais oberts, un indicador de matollars, un indicador forestal i, comparativament, un indicador d'espècies generalistes sense una preferència clara per un tipus d'ambient. L'evolució dels indicadors d'hàbitat s'ha investigat a partir d'una regressió lineal, amb els anys com a variable independent.

Les tendències poblacionals de les 78 espècies estudiades es representen a la figura 2. Gairebé la meitat de les espècies (37 espècies, o el 47,4%) han experimentat tendències poblacionals significatives, amb un predomini clar dels descensos respecte als augments (28 vs. 9 espècies; taula 1). En 10 espècies, el programa TRIM classifica el descens com a molt marcat, mentre que únicament en quatre casos els augments es consideren igualment com a molt marcats (vegeu alguns exemples a la fig.





Figura 3. Alguns exemples d'espècies de papallones que han experimentat tendències significatives a Catalunya en els darrers 15 anys. Espècies en regressió: (A) *Maculinea arion*, i (B) *Coenonympha arcania*. Espècies en augment: (C) *Nymphalis polychloros*, (D) *Argynnis paphia*, i (E) *Libythea celtis*. Finalment, (F) *Danaus chrysippus*, una espècie expansiva no sedentària, que des de la dècada dels 80 irromp cada cop amb més freqüència al nostre país (fotos: A, J. Dantart; B-E, J. Jubany; F, F. Pestaña).

3). Dins del grup d'espècies amb tendències no significatives, 19 espècies mostren tendències incertes (a causa d'un nombre insuficient de dades o de fluctuacions interanuals molt fortes); d'entre aquestes, també hi ha un predomini clar dels valors negatius respecte als positius (13 vs. 6). Durant el període d'estudi, únicament 22 espècies (28%) han romàs estables.

Pel que fa a la relació entre les tendències poblacionals i l'especialització de l'hàbitat, s'ha trobat una relació significativa, exemplificada a la figura 4. En general, els especialistes d'hàbitat (és a dir, les espècies que tenen valors més alts d'IEH) mostren unes tendències més negatives que els generalistes, i es confirma un patró habitual als països del nord i centre d'Europa. Ara bé, l'anàlisi dels indicadors d'hàbitat també mostra clarament que no

tots els especialistes han davallat de la mateixa manera. De fet, el sentit de la tendència poblacional es relaciona fortament amb el tipus d'ambient que prefereixen (fig. 5). Així, mentre que les espècies típiques de prats i matollars han disminuït de manera alarmant en els darrers 15 anys (indicador de prats: $F = 11,41$, $P = 0,0049$; indicador de matollar: $F = 14,66$, $P = 0,0021$), les espècies pròpies dels ambients forestals han augmentat de forma marginal ($F = 4,55$, $P = 0,053$). El 2008, els índexs dels indicadors de prats i de matollars havien disminuït en un 67% i 50%, respectivament, en referència als valors inicials de 1994. En canvi, l'índex de l'indicador forestal havia augmentat en un 115% respecte a l'inicial. És interessant remarcar que l'indicador de les espècies generalistes (és a dir, les que no mostren prefe-



Taula 1. Espècies de ropalòcers que han experimentat tendències significatives al conjunt de les estacions de la xarxa CBMS, en el període 1994-2008. Dins de les quatre categories considerades (regressió moderada, regressió forta, augment moderat, augment fort), les espècies apareixen en ordre decreixent respecte la magnitud de la tendència poblacional (p. ex. *Maculinea arion* és l'espècie que ha patit una regressió més forta, i *Libythea celtis* la que ha experimentat un augment més fort).

Espècies en regressió	Espècies en augment
Força	Fort
<i>Maculinea arion</i>	<i>Libythea celtis</i>
<i>Melanargia occitanica</i>	<i>Nymphalis antiopa</i>
<i>Coenonympha glycerion</i>	<i>Nymphalis polychloros</i>
<i>Polyommatus escheri</i>	<i>Gonepteryx cleopatra</i>
<i>Pyronia cecilia</i>	Moderat
<i>Melitaea cinxia</i>	<i>Brintesia circe</i>
<i>Aglais urticae</i>	<i>Hipparchia semele</i>
<i>Coenonympha dorus</i>	<i>Gonepteryx rhamni</i>
<i>Coenonympha arcania</i>	<i>Argynnis paphia</i>
<i>Cynthia cardui</i>	<i>Pieris rapae</i>
Moderada	
<i>Polyommatus bellargus</i>	
<i>Polyommatus semiargus</i>	
<i>Colias alfacariensis</i>	
<i>Erynnis tages</i>	
<i>Euphydryas aurinia</i>	
<i>Lycaena alciphron</i>	
<i>Pieris napi</i>	
<i>Leptidea sinapis</i>	
<i>Lycaena phlaeas</i>	
<i>Leptotes pirithous</i>	
<i>Issoria lathonia</i>	
<i>Ochlodes venata</i>	
<i>Pieris brassicae</i>	
<i>Polyommatus icarus</i>	
<i>Colias crocea</i>	
<i>Iphiclydes podalirius</i>	
<i>Pyronia tithonus</i>	
<i>Vanessa atalanta</i>	

rències clares d'hàbitat) ha romàs molt estable durant tot el període ($F = 0,00$, $P = 0,98$), i es confirma, per tant, que les espècies més comunes i generalistes són poc sensibles als canvis ambientals.

Els canvis d'usos del sòl i la fragmentació dels hàbitats estan afectant les papallones catalanes

Aquest estudi sembla indicar que els símptomes de la crisi de biodiversitat, apuntada a la introducció, comencen també a detectar-se en l'àmbit local de la nostra fauna: gairebé la meitat de les papallones han experimentat tendències poblacionals significatives en els darrers 15 anys, i aquestes tendències han estat predominantment negatives. Encara que només s'han avaluat 78 de les 200 espècies conegudes a la regió, les conclusions possiblement són extrapolables al conjunt de la fauna. De fet, l'anàlisi es fonamenta sobretot en les espècies més comunes. Per a les espècies més rares, la informació existent és massa fragmentària per poder dur a terme una anàlisi

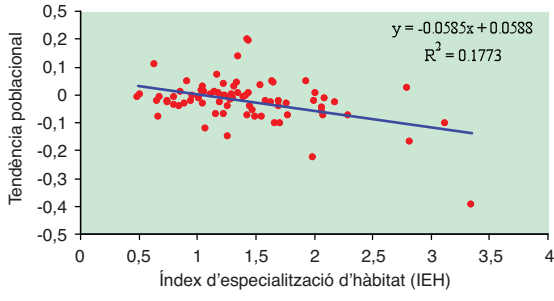


Figure 4. Relació entre les tendències poblacionals i un índex d'especialització d'hàbitat (IEH) en les 78 espècies estudiades. Existeix una correlació negativa molt significativa entre ambdues variables ($r = -0,421$, $P < 0,0001$) que indica la tendència dels especialistes a patir regressions més fortes que els generalistes.

similar. Tot i així, amb les dades disponibles ja es posa de manifest que les papallones que han patit les regressions més fortes són també les veritables especialistes d'hàbitat (és a dir, les més rares i les que es distribueixen més localment; fig. 4). Per tant, si l'avaluació incloués les espècies rares, és molt possible que els resultats mostressin regressions encara més fortes i generalitzades.

Podem concloure que aquestes tendències negatives són conseqüència del canvi global? Efectivament, els declivis que estan patint moltes espècies es relacionen directament almenys amb un dels motors del canvi global: la destrucció i la fragmentació dels hàbitats. La forta davallada que estan experimentant les papallones pròpies dels ambients oberts (prats i matollars) contrasta fortament amb l'increment de les espècies forestals i amb la manca d'una tendència de les espècies generalistes (fig. 5). En darrer terme, aquesta situació tan particular cal buscar-la en els profunds canvis paisatgístics que estan tenint lloc al nord de la Mediterrània en les darreres dèca-

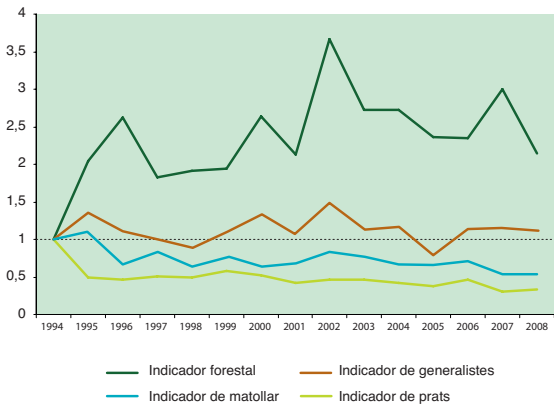


Figura 5. Indicadors d'hàbitat basats en les tendències poblacionals de les papallones més característiques dels diferents ambients. Els indicadors de prats i matollar han disminuït molt significativament durant el període, mentre que l'indicador de boscos ha augmentat de forma marginalment significativa. L'indicador de generalistes s'ha mantingut estable.



des. Entre aquests canvis caldria mencionar l'abandonament de l'agricultura i la ramaderia tradicionals a les zones de muntanya (p. ex. Debussche *et al.*, 1999) i tant la urbanització com la intensificació agrícola a les àrees més productives (p. ex. Pino *et al.*, 2009). En combinació, aquestes forces estan donant lloc a una reducció dramàtica de les zones de prats i pastures a la Mediterrània, i a un fort increment dels boscos, sobretot a les àrees de muntanya. Les conseqüències sobre la fauna són generals i les dades relatives a d'altres grups apunten en la mateixa direcció (vegeu Brotons *et al.*, 2004, per a una discussió relacionada amb l'ornitofauna catalana).

Els efectes negatius de l'abandonament dels prats en el cas concret de les papallones catalanes han estat documentats en diversos treballs recents (Miralles i Stefanescu, 2004; Stefanescu *et al.*, 2009; Krauss *et al.*, 2010). Aquests estudis mostren com la desaparició de les pràctiques tradicionals, com ara la pastura i el dall, comporten la ràpida degradació dels prats i, en pocs anys, la desaparició de moltes de les papallones que s'hi troben associades. La destrucció dels prats a causa de la urbanització i de la intensificació agrícola, i les nefastes conseqüències que això comporta sobre la fauna de papallones, i la biodiversitat en general, són fenòmens àmpliament coneguts (WallisDeVries *et al.*, 2002; Benton *et al.*, 2003), que cada cop afecten més la regió mediterrània. En aquest sentit, l'estudi de col·leccions entomològiques històriques i la comparació amb la fauna actual indica que aquest és un fenomen també habitual en el cas de Catalunya.

En definitiva, els programes de seguiment que utilitzen les papallones com a organismes bioindicadors ens alerten que a Catalunya i al conjunt d'Europa (van Swaay i van Strien, 2008) moltes espècies de papallones, i previsiblement una fracció important de la biodiversitat, es troben en perill com a conseqüència dels canvis d'usos del sòl.

I el canvi climàtic, també les afecta?

Un dels principals motors del canvi global en l'actualitat, i possiblement encara més en el futur, és el canvi climàtic (Thomas C.D. *et al.*, 2004). Són molts els exemples que permeten afirmar que els seus efectes ja es perceben als ecosistemes (Parmesan, 2006), i són les papallones precisament un dels grups pels quals s'han obtingut evidències més clares (vegeu Stefanescu, 2010, per a una revisió recent). Així, s'ha constatat que l'augment de les temperatures està alterant la fenologia d'aquests insectes, les seves distribucions, l'estructura de les comunitats i, fins i tot, està donant lloc a ràpids processos adaptatius i microevolutius. Ara bé, disposem de proves que demostrin

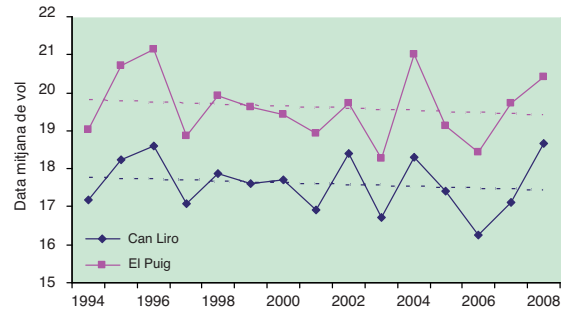


Figura 6. Data mitjana de vol (en setmanes) de *Melanargia lachesis* en dues localitats del Montseny, durant el període 1994-2008. La setmana 1 correspon a la primera setmana de març. En totes dues localitats s'observen retards (p. ex. 1996 i 2004) i avançaments (p. ex. 2003 i 2006) respecte a la fenologia habitual (línies discontinues), com a resposta a unes condicions climatològiques particulars d'aquella temporada. La data mitjana de vol al Puig (altitud: 1027 m) apareix sempre amb un retard d'unes dues setmanes respecte la de Can Liro (altitud: 333 m), a causa del seu clima més fred. En cap d'aquestes dues localitats s'observa una tendència temporal en el període considerat (Can Liro: $P = 0,61$; El Puig: $P = 0,62$).

inequívocament que les papallones catalanes estan ja responent al canvi climàtic?

El CBMS representa una base de dades òptima per poder respondre aquesta pregunta. Per exemple, pel que fa a la fenologia, els censos setmanals reflecteixen amb molta precisió les corbes de vol de les espècies i, per tant, és possible analitzar-ne la seva evolució temporal. D'acord amb les prediccions, el canvi climàtic hauria de comportar un avançament en l'aparició de les papallones cada temporada, ja que permet una acumulació més ràpida de les unitats tèrmiques (graus dia) necessàries perquè es puguin completar les diferents fases del cicle biològic. Això és precisament el que es va constatar per a un conjunt de 18 espècies en una localitat dels Aiguamolls de l'Empordà, entre els anys 1988-2002 (Stefanescu *et al.*, 2003; vegeu també Peñuelas *et al.*, 2008). En aquest període de 15 anys la majoria de les espècies van avançar els períodes de vol en les generacions primaverales (16 de les 18 espècies, i d'aquestes 16, 8 de forma significativa, amb avançaments de fins a 3 setmanes). Les dades d'una estació meteorològica situada a la mateixa localitat on es va fer el seguiment de les papallones indicaven un augment de la temperatura mitjana dels mesos de final d'hivern i començament de primavera, amb la qual cosa la relació de causalitat entre ambdues sèries de dades sembla ben establerta.

Tanmateix, una anàlisi posterior de les dades recollides per a 21 espècies comunes en altres 17 estacions del CBMS entre 1994 i 2008 va indicar l'absència de tendències significatives i consistents en els períodes de



vol (Stefanescu i Torre, 2009). Aquest resultat sens dubte es relaciona amb la predominança d'estius poc calorosos al final del període considerat, ja que els indicadors fenològics sí que mostraven alteracions molt notables (forts avançaments en la direcció prevista) aquells anys en què s'havien assolit temperatures extremes (p. ex. els anys extremament calorosos de 1994, 1997, 2003 o 2006; fig. 6). Es pot concloure, doncs, que la forta sensibilitat de les papallones envers aquests episodis extrems fa previsible una alteració fenològica notable en el futur, si es confirmen les previsions de canvi climàtic per a l'àrea mediterrània.

Els canvis en la distribució de les espècies aporten un altre índex clar del fet que les papallones ja estan responnent al canvi climàtic a Catalunya. Per exemple, són notòries les observacions recents d'espècies d'origen africà que fins fa poc mai no havien estat detectades tan al nord. Una d'elles és la famosa papallona monarca, *Danaus plexippus*, una papallona fortament migradora que manté poblacions estables en diverses zones del nord d'Àfrica i les illes Canàries, i poblacions inestables a la costa de Màlaga, Granada i Cadis. L'estiu de 2003, coincidint amb les màximes històriques de temperatura al juny-juliol a molts indrets de Catalunya, va aparèixer per primer cop al delta de l'Ebre, sens dubte com a resultat d'un procés de dispersió a llarga distància des de les poblacions africanes o del sud peninsular. Per la seva banda, l'espècie cogenèrica i també africana *Danaus chrysippus* s'ha convertit en un migrador regular a Catalunya en les últimes dues dècades.

Malgrat que hi hagi noves incorporacions a la fauna catalana com a conseqüència del canvi climàtic, els treballs teòrics sobre els patrons de riquesa de les papallones catalanes alerten d'un alt risc de pèrdua de diversitat en els propers anys (Stefanescu *et al.*, 2004, 2010b). Cal tenir en compte que la màxima concentració d'espècies es dona en les àrees de muntanya (sobretot als Pirineus), a alçades mitjanes compreses entre 500 i 1.500 m, on la combinació de temperatures relativament baixes i altes pluvio-metries donen lloc a una situació de baix estrès hídric. Dissortadament, d'acord amb els escenaris de canvi climàtic, hom pot esperar que en aquestes zones hi haurà a curt i mig termini no tan sols un augment de les temperatures, sinó també de les condicions generals d'aridesa, dos factors que previsiblement es traduiran en una pèrdua d'espècies de papallones. Que aquest risc és evident sembla plenament confirmat per un estudi molt recent dut a terme a la Sierra de Guadarrama, en què s'ha comprovat l'empobriment de les comunitats de papallones en els darrers 30-40 anys, coincidint amb canvis altitudinals en la distribució directament lligats al canvi climàtic (Wilson *et al.*, 2007; Merrill *et al.*, 2008).

Conclusions

El programa de seguiment del CBMS va néixer amb l'objectiu principal de conèixer les tendències poblacionals de les papallones catalanes i, per extensió, l'estat de la biodiversitat dels nostres ecosistemes terrestres. L'anàlisi d'una gran quantitat d'informació recollida al llarg dels darrers 15 anys en un centenar de localitats ens permet afirmar que, en l'actualitat, una proporció molt considerable de les espècies es troben en un clar procés de davallada. Hi ha nombroses evidències que assenyalen el canvi global com el principal responsable d'aquesta situació, en particular els canvis en els usos del sòl que estan modificant profundament el paisatge del nostre territori. Fins el moment, els efectes del canvi climàtic semblen menors, per bé que els models teòrics pronostiquen una pèrdua molt forta de riquesa específica en paral·lel a l'augment previst en les temperatures i l'aridesa a l'àrea mediterrània. Tenint en compte el caràcter bioindicador de les papallones, sembla molt raonable pensar que aquestes tendències negatives deuen afectar ja una bona part de la biodiversitat catalana.

Bibliografia

- Benton, T.G., Vickery, J.A. i Wilson, D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 182-188.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J. i Kunin, W.E. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313: 351-354.
- Brook, B.W., Sodhi, N.S. i Bradshaw, C.J.A. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 23: 453-460.
- Brotos, Ll., Herrando, S., Estrada, J. i Pedrocchi, V. (2004). Patrons generals dels canvis en la distribució de les espècies i l'ús del sòl en el període entre els dos atles. In: Estrada, J., Pedrocchi, V., Brotos, Ll. i Herrando, S., (eds), *Atlas dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002*, pp. 567-581. Institut Català d'Ornitologia/Lynx Edicions, Barcelona.
- Debussche, M., Lepart, J. i Dervieux, A. (1999). Mediterranean landscape changes: evidence from old postcards. *Global Ecology and Biogeography*, 8: 3-15.
- Diamond, J.M. (1989). Overview of recent extinctions. In: Western, D. i Pearl, M.C. (eds.), *Conservation for the Twenty-First Century*, pp. 37-41. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Dunn, R.R., Harris, N.C., Colwell, R.K., Koh, L.P. i Sodhi, N.S. (2009). The sixth mass



- coextinction: are most endangered species parasites and mutualists? *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 3037-3045.
- Gaston, K. (1991). The magnitude of global insect species richness. *Conservation Biology*, 5: 283-296.
- Grimaldi, D. i Engel, M.S. (2005). *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Krauss, J., Bonmarco, R., Guardiola, M., Heikkinen, R.K., Helm, A., Kuussaari, M., Lindborg, R., Öckinger, E., Pärtel, M., Pino, J., Pöyry, J., Raatikainen, K.M., Sang, A., Stefanescu, C., Teder, T., Zobel, M. i Steffan-Dewenter, I. (2010). Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecology Letters*, 13: 597-605.
- May, R. (1988). How many species are there on Earth? *Science*, 241: 1441-1449.
- Merrill, R.M., Gutiérrez, D., Lewis, O.T., Gutiérrez, J., Díez, S.B. i Wilson, R.J. (2008). Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal of Animal Ecology*, 77: 145-155.
- Miralles, M. i Stefanescu, C. (2004). Les papallones diürnes del Montnegre. Deu anys de seguiment amb la metodologia del BMS. *In: IV Trobada d'estudiosos del Montnegre i el Corredor*: 105-112. Monografies 38. Diputació de Barcelona, Barcelona.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637-669.
- Peñuelas, J., Filella, I., Estiarte, M., Ogaya, R., Llusià, J., Sardans, J., Jump, A., Garbulsky, M., Carrillo, B., Stefanescu, C., Lloret, F. i Terradas, J. (2008). El canvi climàtic altera i alterarà la vida als ecosistemes terrestres catalans *L'Atzavara*, 16: 13-28
- Pino, J., Rodà, F., Basnou, C. i Guirado, M. (2009). El canvi ambiental a la Mediterrània: la perspectiva del paisatge. *In: Barriocanal, C., Varga, D. i Vila, J., (eds), Canvi ambiental global: una perspectiva multiescalar*. Quaderns de Medi Ambient, 1: 91-102. Documenta Universitaria, Girona.
- Stefanescu, C. (2010). Les papallones i el canvi climàtic. *La revista del CENMA*, 5: 54-64.
- Stefanescu, C. i Torre, I. (2009). Indicador de la fenologia de les papallones diürnes. 19 pp. Institució Catalana d'Història Natural, Barcelona (informe inèdit).
- Stefanescu, C., Peñuelas, J. i Filella, I. (2003). Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology*, 9: 1494-1506.
- Stefanescu, C., Herrando, S. i Páramo, F. (2004). Butterfly species richness in the north-west Mediterranean Basin: the role of natural and human-induced factors. *Journal of Biogeography*, 31: 905-915.
- Stefanescu, C., Jubany, J., Torre, I. i Páramo, F. (2008). Preferències d'hàbitat i tendències poblacionals de les papallones a Catalunya, *Cynthia*, 7: 11-14.
- Stefanescu, C., Peñuelas, J. i Filella, I. (2009). Rapid changes in butterfly communities following the abandonment of grasslands: a case study. *Insect Diversity and Conservation*, 2: 261-269.
- Stefanescu, C., Torre, I., Jubany, J. i Páramo, F. (2010a). Recent trends in butterfly populations from north-east Spain and Andorra in the light of habitat and climate change. *Journal of Insect Conservation*, DOI: 10.1007/s10841-010-9325-z.
- Stefanescu, C., Carnicer, J. i Peñuelas, J. (2010b). Determinants of species richness in generalist and specialist Mediterranean butterflies: the negative synergistic forces of climate and habitat change. *Ecography*, DOI: 10.1111/j.1600-0587.2010.06264.x.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., Ferreira de Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A., Phillips, O.L. i Williams, S.E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427: 145-148.
- Thomas, J.A. (2005). Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360: 339-357.
- Thomas, J.A., Telfer, M.G., Roy, D.B., Preston, C.D., Greenwood, J.J.D., Asher, J., Fox, R., Clarke, R.T. i Lawton, J.H. (2004). Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. *Science*, 303: 1879-1881.
- van Swaay, C.A.M., Nowicki, P., Settele, J. i van Strien, A.J. (2008). Butterfly monitoring in Europe: methods, applications and perspectives. *Biodiversity and Conservation*, 17: 3455-3469.
- van Swaay, C.A.M. i van Strien, A.J. (2008). *The European Butterfly Indicator for Grassland species 1990-2007. Report VS2008.022*. De Vlinderstichting, Wageningen.
- WallisDeVries, M.F., Poschod, P. i Willems, J.H. (2002). Challenges for the conservation of calcareous grasslands in northwestern Europe: integrating the requirements of flora and fauna. *Biological Conservation*, 104: 265-273.
- Wilson, R.J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, J. i Monserrat, V.J. (2007). An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate change. *Global Change Biology*, 13: 1873-1887.

