

Migracions magnètiques

Les papallones monarca i el prodigi de la quarta generació

Francesc Lloret i Pastor

Catedràtic de Química Inorgànica · Institut de Ciència Molecular · UV

Vivim i ens desenvolupem en un món magnètic. La vida és possible gràcies a l'existència del camp magnètic que genera el planeta. Les línies d'aquest camp s'escampen a desenes de milers de quilòmetres de la superfície terrestre i formen l'anomenada magnetosfera, la qual protegeix la Terra del vent solar que destruiria l'atmosfera, incloent-hi la capa d'ozó que ens protegeix de la mortal radiació ultraviolada. El camp magnètic desvia la major part del vent solar i forma un escut protector contra les partícules carregades (protons i electrons) d'alta energia que emet el Sol. Un nombre reduït de partícules aconsegueixen arribar, seguint les línies del camp magnètic, fins a l'alta atmosfera i descendir per la ionosfera fins a les zones aurorals, centrades als pols magnètics. L'únic moment en què podem observar l'efecte del vent solar ocorre quan és suficientment fort per a produir les aurores boreals o australs. En algunes ocasions, aquestes partícules poden arribar a traspasar el camp magnètic de la Terra i generar les anomenades tempestes magnètiques, que poden afectar els sistemes de telecomunicacions i de subministrament elèctric i arribar, fins i tot, a produir una gran apagada. De fet, quan Mart va perdre el seu camp magnètic, la radiació solar va destruir-ne l'atmosfera.

Actualment, per a l'estudi sobre la viabilitat de possible vida o habitabilitat d'exoplanetes, un dels paràmetres més importants és l'existència d'un camp magnètic d'una intensitat mínima equivalent al 50% del terrestre, amb el qual es puga crear una magnetosfera que protegeixi la superfície del planeta de la radiació estel·lar que impediria qualsevol forma de vida.

Es així com la vida en el planeta naix i està lligada a l'existència del camp magnètic, per això no és estrany que els éssers vius hàgem desenvolupat un avantatge evolutiu per a detectar-lo, és a dir, una sèrie de capacitats i habilitats per a detectar el magnetisme i utilitzar-lo per a l'orientació i la supervivència (la magnetobiologia). Des dels simples bacteris (una simple cèl·lula procariota) fins als animals més complexos biosintetitzen nanopartícules magnètiques de ferrita (biomineralització) que els permeten desenvolupar brúixoles naturals per a detectar camps magnètics i orientar-se (magnetodetecció) a fi de poder dur a terme sorprenents i extraordinàries migracions.

En les últimes dècades s'han dut a terme molts estudis que indiquen la presència de magnetita en organismes vius com ara alguns bacteris, plàncton, caragols marins, crustacis, cucs, abe-



Cicle de vida de la papallona monarca (imatge de l'autor)

lles, formigues, salamandres, papallones, coloms, pit-rojos, ratpenats, salmons, taurons, balenes, rajades, tonyines, tortugues, anguilles, dofins..., i moltes d'aquestes espècies són capaces de trobar el camí de tornada després d'haver estat desplaçades a un lloc desconegut per a elles, i ho fan en absència de referències geogràfiques, estímuls familiars o qualsevol altra informació. No obstant això, quan els investigadors apliquen camps magnètics externs, de direcció diferent al terrestre, aquestes espècies són incapaces de trobar el camí. Però, allò més extraordinari és eixa genètica capaç de transmetre, de generació en generació, tota aquesta informació direccional i com detectar-la. Com és que una papallona amb un cervell que pesa menys de 20 mil·ligrams és capaç de trobar el seu camí a un lloc molt concret a milers de quilòmetres de distància, a pesar de no haver estat mai en aquell lloc?

Les papallones monarca són famoses per la increïble migració massiva que cada hivern fan des del Canadà i el nord dels Estats Units fins a un petit bosc d'oyamels (*Abies religiosa*) de Michoacán (Mèxic). És una de les migracions més llargues, complexes i nombroses en el món dels insectes. La migració cap al sud comença a final d'agost, mentre que inicien la tornada novament cap al nord a la primavera, al mes de març, amb una distància d'uns 5000 quilòmetres, tant a l'anada com a la tornada. Aquesta migració es coneix des de 1975 gràcies al treball del zoòleg canadenc Fred Urquhart (1911-2002) i la seua esposa Norah Roden Urquhart (1918-2009), que van iniciar el 1937. És a dir, necessitaren quasi quaranta anys per a descobrir que el lloc d'hibernació de la papallona monarca era al centre de Mèxic.

Les papallones monarca naixen dels ous que les seues mares dipositen en les plantes del co-

tonet, de les quals s'alimenten les larves quan ixen. Aquestes plantes produeixen substàncies tòxiques (glicòsids cardíacs) que les erugues assimilen a la pell, de manera que es converteixen també en tòxiques per a protegir-se d'un gran nombre de depredadors. A mesura que van engreixant-se, les larves es converteixen en erugues que s'emboliquen amb una bossa protectora i entren en la fase de crisàlide. Ixen de la bossa en forma d'adults bellamenticolors: negre, taronja i blanc. Aquesta vistosa coloració avisa els depredadors que és verinosa i no comestible (fenomen anomenat coloració aposemàtica), és a dir, trets cridaners destinats a advertir de la seua toxicitat als depredadors. En general, la papallona monarca viu quatre dies en forma d'ou, dues setmanes com a eruga, deu dies com a crisàlide i unes tres setmanes com a adult. Un màxim de set setmanes des de la concepció fins a la mort.

A les acaballes de l'estiu, milions de papallones monarca comencen un viatge de quasi dos mesos de durada, des del Canadà fins a uns boscos del centre de Mèxic, on passaran l'hivern, i al març iniciaran el retorn a casa, on passaran l'estiu. Si tenim en compte que la vida d'una papallona adulta és d'un tres setmanes i que la durada de la migració és d'un parell de mesos (setembre i octubre), és obvi que la papallona que inicia la migració no pot ser la mateixa que arriba a Mèxic, sinó, en qualsevol cas, la seua filla. Però si la papallona ha de pondre els ous i esperar que isquen les noves papallones perquè continuen la migració, es necessiten molt més de dos mesos per a fer la travessia. Això va ser una gran incògnita durant molt de temps. El secret és un fenomen únic en la reproducció animal. Al final de l'estiu naix una generació especial de papallones monarca que no és igual que les anteriors, l'anomenada quarta generació (o la papallona Matusalem). Contràriament als seus pares, avis, besavis i rebesavis, que tingueren unes vides efímeres d'un tres setmanes, aquestes papallones nascudes a final de l'estiu (uns dies abans d'iniciar la migració) tenen una vida molt més llarga; viuen nou mesos. Això significa que, si nosaltres visquérem una mitjana de 80 anys, els nostres fills en viurien 720. Per aquesta raó l'anomenen Matusalem i són les encarregades de dur a terme la migració hivernal de nord a sud. Naixen preparades per a fer-ho, amb una gran resistència, amb fotomagnetoreceptors, el seu mapa magnètic i el codi genètic capaç de reconèixer les línies del camp magnètic. Gràcies a aquestes característiques, la papallona monarca, un insecte de mig gram de pes i 20 mil·ligrams de cervell, poden realitzar un viatge titànic de quasi 5000 quilòmetres seguint una ruta traçada per generacions anteriors, encara que elles no l'han fet mai, però que tenen exactament enregistrada en el seu codi genètic. A final d'octubre i principi de novembre van arribant als boscos d'oyamel de Mèxic, on romandran aproximadament cinc mesos (de novembre a març) hibernant. A final de febrer, amb els primers rajos de sol que anuncien l'arribada de la primavera, les monarques es desperten i comencen a alimentar-se, a apare-

llar-se i a preparar el seu retorn al nord. Eixos nou mesos de vida els han donat per a viatjar al sud (quasi dos mesos), passar cinc mesos a Mèxic, aparellar-se i començar el retorn al nord. La generació Matusalem farà l'últim pas del seu cicle vital: iniciar la migració cap al nord. La pròxima meta serà el nord de Mèxic o el sud dels Estats Units, on buscaran les plantes de cotonet per a pondre els ous i morir. De la primera posta naixerà la primera generació, amb un cicle de vida normal d'un tres setmanes, que continuarà la migració cap al nord. Arribaran al centre dels Estats Units, on dipositaran els ous i moriran. La segona generació, com la primera, serà una generació viatgera amb un tres setmanes de vida que continuarà la migració cap al nord dels Estats Units i al Canadà, on pondrà els ous en el seu hàbitat estival i naixerà la tercera generació.

D'alguna manera, aquestes generacions coneixen perfectament el camí de tornada. Segueixen les mateixes rutes que les seues antecessores i de vegades, fins i tot, tornen al mateix arbre, que òbviament no havien vist mai. La tercera generació passarà l'estiu al mateix lloc que les seues rebesàvies i serà la progenitora de la quarta generació. Aquestes rebesnetes de les migradores Matusalem són les que heretaran la longevitat de les seues rebesàvies i faran una altra vegada la migració cap al sud. El viatge de tornada al nord dura molt més temps que la migració al sud, quasi cinc mesos, perquè el realitzen entre diverses generacions; és una migració multigeneracional o una cursa de relleus.

Com aconseguixen geolocalitzar una àrea menuda, unes hectàrees, a les muntanyes del centre de Mèxic? La transmissió direccional entre generacions és complicada, ja que la papallona només migra cada cinc generacions. Per tant, les monarques s'han de basar en els seus sentits per a trobar els llocs d'hibernació. Estudis recents han demostrat que, de la mateixa manera que alguns altres insectes com ara les abelles o les formigues, les papallones monarca tenen cristalls de magnetita a les antenes i senten el camp magnètic terrestre. En un experiment es van capturar papallones monarca durant la tardor, preparades per a emigrar, i les van sotmetre a tres situacions diferents: sense camp magnètic, en un camp magnètic terrestre i en un camp magnètic artificial de sentit oposat al terrestre. En el primer cas, les papallones volaven en direccions aleatòries; en el cas del camp magnètic terrestre, volaven cap al sud-oest, com en la seua migració natural, i en el camp de sentit invers, anaven cap al nord-est, en sentit contrari. Això va confirmar que les monarques tenen un compàs geomagnètic i utilitzen la direcció del camp magnètic per a orientar-se. Com en el cas dels ocells, el funcionament d'aquesta brúixola depèn de la presència de llum d'una longitud d'ona pròpia de la llum blava i ultraviolada, que també els arriba els dies ennuvolats. Recentment, s'ha descobert que dues proteïnes fotoreceptores presents en la monarca estan relacionades amb la capacitat de navegació d'aquest insecte fent servir el camp magnètic terrestre.