

# L'escalfament global i l'extinció de les plantes: un exemple tropical

Elisabet Safont <sup>1</sup>, Valentí Rull <sup>1</sup>, Teresa Vegas-Vilarrúbia <sup>2</sup> i Sandra Nogué <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratori de Palinologia i Paleoecologia, Institut Botànic de Barcelona

<sup>2</sup> Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

<sup>3</sup> Department of Zoology, University of Oxford

*GLOBAL WARMING AND PLANT EXTINCTION: A TROPICAL EXAMPLE. – Pantepui is a phytogeographical province made up of a group of approximately 50 tabular mountain summits or tepuis in southeast Venezuela. This region lies between 1500 and 3014 m a.s.l and covers an approximate area of 6000 km<sup>2</sup>. Its pristine state of conservation is remarkable. The summits of the tepuis contain an exceptional level of vascular plant diversity, including 2446 known species, of which 771 are endemic to Pantepui. It is expected that the ongoing effects of global warming will produce upward displacements of summit taxa, which could result in the extinction of certain species due to habitat loss. This study is an assessment of the potential extinction risk during the 21st century due to global warming. In order to determine those species that will potentially become extinct during each time frame (2011-2030, 2046-2065 and 2080-2099), we used Altitudinal Range Displacement (ARD) analysis and different scenarios to forecast expected temperatures, as predicted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The ARD results revealed that at least 169, and up to 321, endemic species would lose their habitat by the end of this century based on the more conservative and pessimistic scenarios, respectively. In light of these results, a number of in situ and ex situ conservation alternatives are discussed. In situ conservation by means of protected areas does not appear to be a viable option because of the upward habitat displacement that would occur. Conversely, ex situ conservation techniques (seed or pollen banks, in vitro culture, collections under cultivation, etc.) have great potential to preserve the species discussed herein.*

La pèrdua i degradació (crema, tala, contaminació, etc.) de l'hàbitat i el canvi climàtic són considerats des de fa anys factors clau en la pèrdua de biodiversitat. Tanmateix, més recents són les dades que ens indiquen que el canvi climàtic pot provocar per si mateix pèrdua dels hàbitats de les espècies. Això fa que moltes espècies que avui no pateixen l'impacte directe de l'home, puguin patir en les properes dècades les conseqüències de l'escalfament global. En aquest article s'avalua el risc de pèrdua d'hàbitat pel canvi climàtic de les prop de 800 espècies de plantes vasculares endèmiques conegudes a les muntanyes tabulars neotropicals de la regió de Guayana (sud-est de Veneçuela), una de les zones més prístines i biodiverses del món.

## L'escalfament global és real?

Durant el segle XXI es preveu una taxa d'escalfament de les més elevades de la història de la Terra (Solomon *et al.*, 2007). A causa d'aquesta preocupació, l'any 1988 el Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient (PNUMA) i l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) van establir el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (Intergovernmental Panel of experts on Climate Change – IPCC). L'objectiu d'aquesta organització és proporcionar una visió científica cla-

ra de l'estat actual del canvi climàtic i de les seves potencials conseqüències ambientals i socioeconòmiques. Des del seu establiment, l'IPCC ha produït una sèrie d'informes d'avaluació (IPCC, 1990, 1995, 2001, 2007). L'últim informe indica que la temperatura de la superfície de la Terra, expressada com a mitjana global, ha augmentat 0,74°C en els últims cent anys (1906-2005) (Le Treut *et al.*, 2007). Els anys més càlids d'aquesta sèrie són el 1998 i el 2005, i 11 dels 12 anys més càlids han tingut lloc en els últims 12 anys (de 1995 a 2006). A més a més, la tendència lineal a cent anys del període 1906-2005 (Quart Informe d'Avaluació) (IPCC, 2007) és superior a la tendència corresponent de 0,6°C (1901-2000) indicada en el Tercer Informe d'Avaluació (IPCC, 2001). La figura 1 mostra les temperatures mitjanes anuals de la superfície de la Terra observades des del 1850 al 2005, juntament amb ajustaments lineals de les dades.

Però és aquest escalfament inusual respecte d'altres canvis climàtics produïts en la història de la Terra? Els experts indiquen que alguns aspectes del present canvi climàtic ho són, mentre que d'altres no. La Terra ha patit grans augmentos i disminucions de la temperatura global, però la taxa d'augment actual i les seves causes fan que el present escalfament sigui excepcional. La concentració de diòxid de carboni (un dels gasos que més contribueix



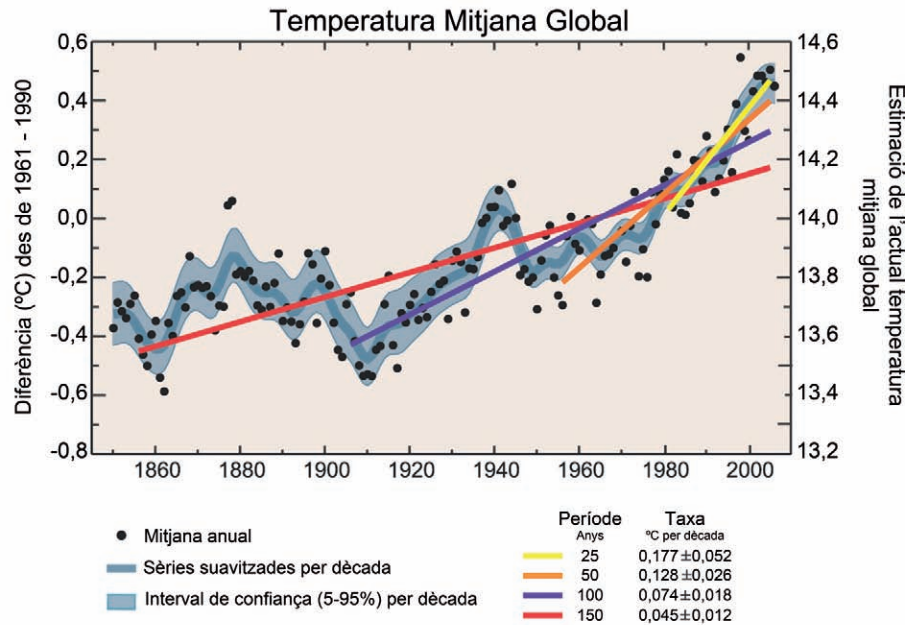


Figura 1. Temperatures mitjanes anuals globals observades (punts negres) amb ajustaments senzills de les dades. L'eix esquerre mostra les anomalies relatives a la mitjana de referència (1961 a 1990) i el dret mostra la temperatura actual estimada. També s'indiquen les línies de tendència dels últims 25 (groc), 50 (taronja), 100 (lila) i 150 anys (vermell), que corresponen als períodes 1981-2005, 1956-2005, 1906-2005 i 1856-2005, respectivament. Per als períodes recents més curts el pendent és més gran, fet que indica un escalfament més accelerat. La corba de color blau més fosc és una representació suavitzada per a mostrar les variacions decennals. Per donar una idea de si les variacions són significatives, també s'han representat en blau més clar els marges d'error (5-95%) decennals (conseqüentment, els valors anuals excedeixen aquests límits). Descarregada i modificada de: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, FAQ 3.1, Figure 1. Cambridge University Press, <http://www.ipcc.ch>, amb permís.

a l'efecte hivernacle i, per tant, a l'escalfament de l'atmosfera i la superfície del planeta) a l'atmosfera ha assolit el seu màxim en l'últim mig milió d'anys, i ho ha fet a una velocitat excepcionalment elevada (Forster *et al.*, 2007). Les temperatures globals actuals són més càlides del que mai han estat en, com a mínim, els últims cinc segles, probablement fins i tot en més d'un mil·lenni (Jansen *et al.*, 2007). Per altra banda, els canvis climàtics passats eren d'origen natural (Jansen *et al.*, 2007), mentre que una gran part de l'escalfament dels últims 50 anys és atribuïble a les activitats humanes, sobretot a la crema de combustibles fòssils (Forster *et al.*, 2007). En aquest sentit, en els últims anys s'han realitzat diversos experiments utilitzant models climàtics per tal de determinar les causes més probables del canvi climàtic produït en el segle XX. Aquests experiments indiquen que els models climàtics no poden reproduir el ràpid canvi climàtic observat en les últimes dècades quan només tenen en compte la variabilitat natural del clima, deguda principalment a variacions en la radiació emesa pel Sol i l'activitat volcànica (Hegerl *et al.*, 2007). No obstant això, quan se'ls introdueixen les dades dels factors externs més importants, incloent l'emissió d'origen antropogènic de gasos d'efecte hivernacle, els models són capaços de reproduir amb

més exactitud els canvis de temperatura observats en el segle XX.

Pel que fa a les previsions d'augment de temperatura, l'últim informe de l'IPCC situa l'augment mitjà per a final de segle entre 1,1°C i 6,4°C respecte a la temperatura mitjana del període 1980-1999 (Solomon *et al.*, 2007). Els escenaris d'escalfament utilitzats per l'IPCC assumeixen que no s'implementarà cap tipus de política climàtica (Nakićenović i Swart, 2000). No obstant això, existeix una gran variació entre els diferents escenaris en termes d'emissions antropogèniques (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i SO<sub>2</sub>), la qual cosa fa que les previsions sobre concentracions d'aquests gasos i temperatura global del planeta per a final de segle varïïn substancialment segons quin s'esculli. Pel que fa als patrons d'escalfament, es preveu que aquest sigui més gran sobre la terra que sobre el mar, amb especial incidència al pol Nord (Meehl *et al.*, 2007).

### Respostes de les plantes a l'escalfament global

De manera general, els organismes poden respondre a l'escalfament global de diverses maneres. Una és la tolerància, que consisteix en resistir l'acció de l'agent que produeix el canvi ambiental. Com més ampli sigui el rang de tem-



peratura en el qual pugui sobreviure l'espècie, més tolerant serà a l'augment de temperatura previst. Una altra opció és l'adaptació a les noves condicions ambientals, la qual cosa implica canvis genètics, però l'interval de temps que ens ocupa (el segle XXI) és insuficient perquè es produeixin canvis evolutius d'aquesta mena. Una altra possibilitat és la migració cap a les zones on les condicions siguin més favorables. En última instància, l'extinció d'una espècie es produeix quan els canvis ambientals superen el seu llindar de tolerància i aquesta és incapaç d'adaptar-se o migrar (Jackson i Overpeck, 2000; Overpeck *et al.*, 2003).

L'augment de 0,74°C des de l'any 1906 ja ha produït respostes biòtiques observables a escala humana, principalment durant els últims 50 anys. Entre elles destaquen com a més evidents els desplaçaments latitudinals cap als pols o les migracions verticals d'espècies montanes a pisos altitudinals superiors (Gottfried *et al.*, 1994, 1999; Grabherr *et al.*, 1994, 2001; Pauli *et al.*, 1996, 2001, 2007; Keller *et al.*, 2000; McCarthy *et al.*, 2001; Dirnböck *et al.*, 2003; Parmesan i Yohe, 2003; Peñuelas i Boada, 2003; Root *et al.*, 2003; Delibes, 2004; Sanz, 2004; Araújo *et al.*, 2005; Bowman, 2005; Graumlich *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2005; Parmesan, 2006; Kullman, 2007; Holzinger *et al.*, 2008; Pickering *et al.*, 2008; Erschbamer *et al.*, 2009). Quan les espècies vegetals migren altitudinalment, els estatges de vegetació ascendeixen fent que els que es troben a més altitud puguin desaparèixer. Es diu que quan l'hàbitat d'una espècie veu modificats els seus atributs de manera que aquesta ja no hi pot viure, l'espècie perd l'hàbitat. D'aquí al final de segle, els tàxons més estenoterms (amb un rang menor de tolerància a la temperatura) adaptats a les parts més altes de les muntanyes són els que poden patir el risc més alt de fragmentació i/o reducció de l'hàbitat, amb la possibilitat de perdre'l totalment i desaparèixer. Si aquestes espècies són endèmiques, la pèrdua de diversitat és de caràcter global.

Les espècies de menor altitud i amb rangs de tolerància més amples (més euritermes) són les que tenen més possibilitats de sobreviure, sempre que siguin capaces de tolerar el canvi o migrar a la mateixa velocitat que la temperatura canvia. A més a més, haurien de trobar un substrat adequat per desenvolupar-s'hi. D'altra banda, espècies que no estiguin directament afectades per la pèrdua d'hàbitat podrien haver d'enfrontar-se a altres amenaces biològiques i ambientals com les extincions secundàries, derivades de la desaparició d'espècies clau (espècies que juguen un paper decisiu en el funcionament de l'ecosistema) (Ebenman i Jonsson, 2005); l'exclusió competitiva (exclusió d'una espècie per l'acció d'una altra a causa de la competència

per un recurs limitat) per l'arribada d'espècies invasores dels nivells altitudinals inferiors (Pauli *et al.*, 2005); o bé l'accentuació dels seus estressors (estímul o situació que provoca una resposta d'estrès en la planta) (Lynch i St. Clair, 2004). Així com la pèrdua d'hàbitat suposaria la reducció de les poblacions (o bé l'extinció directa si aquesta és endèmica), la fragmentació de l'hàbitat també representaria una amenaça molt important, ja que d'aquesta manera es redueix la mida de les poblacions, disminuint-ne la connectivitat i la possibilitat de recolonització, i per tant, fent-les més vulnerables als canvis ambientals.

Cada dia hi ha més estudis sobre els canvis de distribució de la biodiversitat florística d'alta muntanya com a conseqüència del canvi climàtic. Un d'ells és el projecte anomenat "The Global Observation Initiative in Alpine Environments" (GLORIA, <http://www.gloria.ac.at>). Des de l'any 2001, aquest programa internacional vol donar resposta als interrogants que es plantegen actualment sobre si les espècies dels ecosistemes alpins (o d'alta muntanya) tindran la capacitat suficient de tolerar les noves condicions ambientals, si podran migrar per tal de mantenir el seu hàbitat favorable, o bé si s'extingiran irremediament. GLORIA té zones d'estudi repartides per les muntanyes de tots els continents on es recullen sistemàticament dades de flora, vegetació i temperatura, per tal de determinar la reducció i pèrdua de l'hàbitat i calcular la taxa de migració actual de les espècies de plantes vasculares (Grabherr *et al.*, 2000; Pauli *et al.*, 2005).

### Les Terres Altes de Guayana

La regió de la Guayana veneçolana, al nord de Sud-amèrica (Huber, 1995b) (fig. 2), es troba entre les més biodiverses i amb un grau més alt d'endemisme de la Terra (conté un gran nombre d'espècies que habiten exclusivament en aquesta zona geogràfica). Dins d'aquesta regió, l'àrea amb més proporció d'endemismes correspon a les denominades Terres Altes de Guayana (TAG), constituïdes

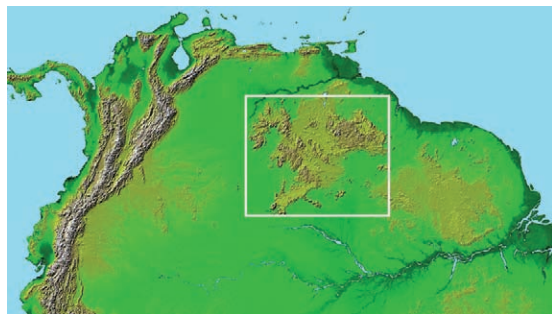


Figura 2. Localització de les Terres Altes de Guayana indicada amb un rectangle en la imatge radar (NASA/JPL-Caltech) del nord d'Amèrica del Sud.





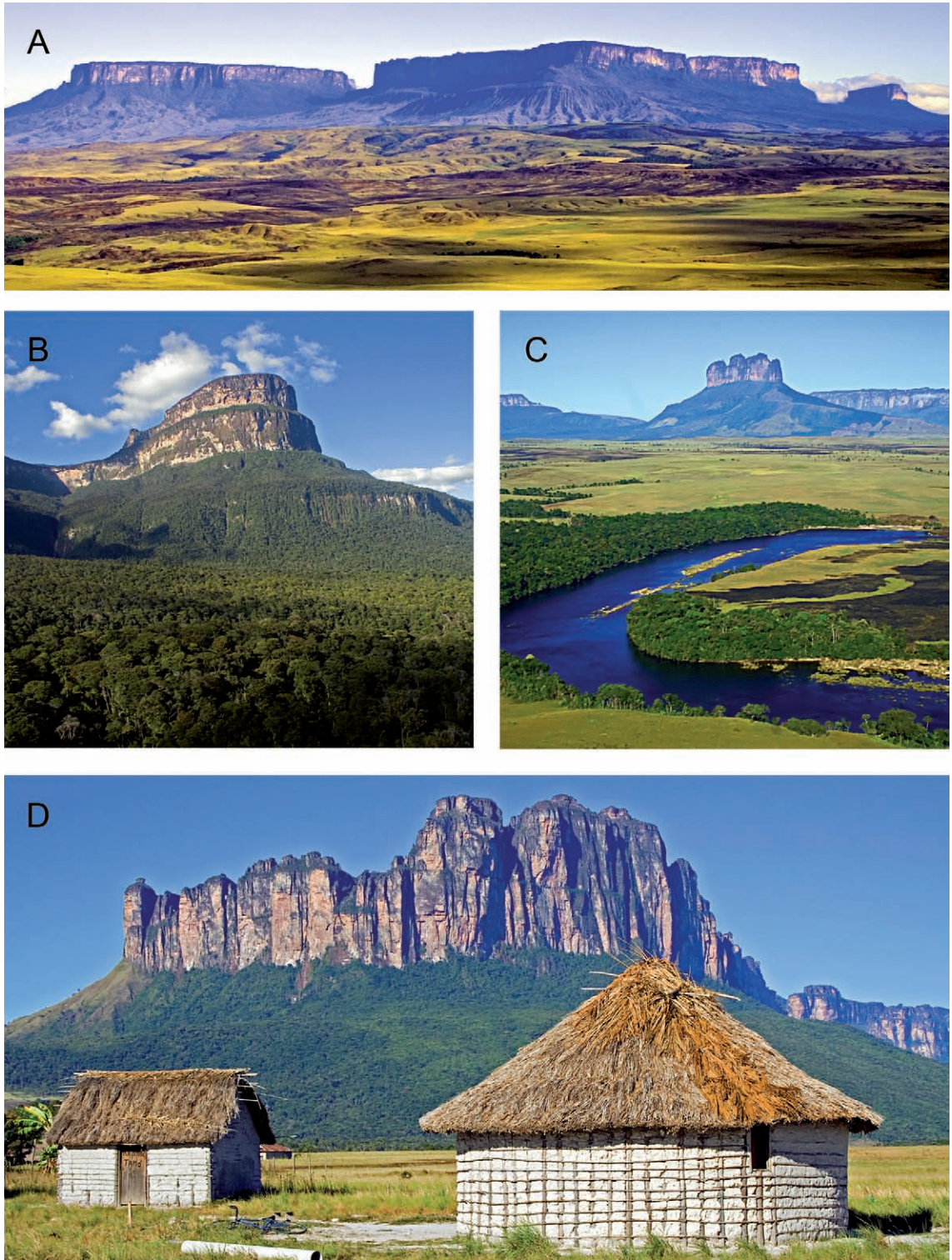


Figura 3. Exemples de les típiques muntanyes tabulars de les Terres Altes de Guayana: A, a l'esquerra, Kukenán i a la dreta, Roraima; B, Tirepón; C, Upuigma i D, Yunek (poble Pemón) i Acopán, al Massís del Chimantá. Fotos: Valentí Rull.

pels cims més o menys plans i aïllats d'una cinquantena de muntanyes tabulars, anomenades *tepui*s (fig. 3). En la llengua pròpia dels indígenes de la regió, els "pemón", tepui significa "brot de pedra" (Huber, 1987), ja que

les seves parets verticals poden arribar fins a 1.000 m de desnivell. La diferenciació extraordinària de la biota de les comunitats tepuianes ha portat a establir una província biogeogràfica discontinua anomenada Pantepui, d'apro-







Figura 4. Exemplars de tàxons significatius esmentats en el text. A, *Stegolepis guianensis*; B, *Bonnetia rorimae*; C, *Chimantaea lanocaulis*. Fotos: Valenti Rull.

ximadament 6.000 km<sup>2</sup> d'extensió i situada entre 1.500 i 3.014 m d'altitud (Huber, 1994, 1995a). Aquesta província es divideix en quatre districtes fitogeogràfics (Berry *et al.*, 1995): est, amb el 48,5% del tepuis; oest, 21,2%; Jaua-Duida, 21,2% i sud, 6%.

Pantepui conforma un paisatge únic en el planeta, amb 2.446 espècies de plantes vasculares documentades, de les quals 1.287 (52,6%) són endèmiques de la Guayana veneçolana i 771 (31,5%) són endèmiques de Pantepui (Berry *et al.*, 1995; Rull, 2005; Nogué, 2009). A més a més, l'endemisme local, és a dir, espècies exclusives d'un sol tepui, arriba al 60% en alguns tepuis (Steyermark, 1986). A un nivell taxonòmic superior, l'endemisme també és remarcable, incloent 23 gèneres (Berry *et al.*, 1995), dels 630 existents a Pantepui.

Fins avui, aquesta regió s'ha mantingut en un estat gairebé pristi de conservació. Les TAG han estat designades com a "Endemic bird area" (Stattersfield *et al.*, 1998), "Center of plant diversity" (Davis *et al.*, 1994-1997), "Global 200 ecoregion" (Olson i Dinerstein, 1998), "Frontier forest" (Bryant *et al.*, 1997) i "Last of the wild" (Sanderson, 2002). A més a més, Veneçuela compta amb el reconeixement de "Megadiversity country" (Mittermeier *et al.*, 1997). No obstant això, estimacions preliminars indiquen que al voltant del 80% de la flora vascular de Pantepui, és a dir, 1.700 espècies, de les quals 400 en serien endèmiques, es troba en risc d'extinció pel canvi climàtic (Nogué

*et al.*, 2009). A causa de la configuració tabular dels tepuis, els desplaçaments altitudinals dels tàxons que habiten els cims estarien molt limitats (fig. 3), fet que comportaria l'extinció de certes espècies a causa de la pèrdua total del seu hàbitat (Nogué *et al.*, 2009).

La vegetació de Pantepui inclou quatre tipus de formacions: arbòries, arbustives, herbàcies i pioneres. Les formacions arbustives i herbàcies ocupen la major part dels cims dels tepuis, seguits per les pioneres i finalment per les formacions arbòries (Huber, 1995b). Entre les formacions arbòries, la més coneguda és la formada per espècies del gènere *Bonnetia* (fig. 4B). Conegudes amb el nom de bosquets tepuians, es troben a una altitud igual o superior a 1.500 m i són relativament escasses i amb poca riquesa d'espècies (Huber, 1995b; Vareschi, 1992). Les formacions arbustives estan particularment ben desenvolupades a Pantepui. Un tipus peculiar d'arbust és l'arbustar paramoide, dominat per algunes espècies del gènere *Chimantaea* (fig. 4C). Per la seva part, els herbassars més abundants són els dominats pel gènere *Stegolepis* (fig. 4A), i constitueixen un dels elements florístics més característics del bioma de la regió guayanesa (Huber, 1988; Berry *et al.*, 1995). Finalment, les formacions pioneres colonitzen fàcilment les superfícies rocoses sobre les quals s'estableixen.

Les condicions climàtiques de les TAG són les pròpies de les zones tropicals: la temperatura mitjana anual se situa entre 12°C i 18°C



Taula 1. Escenaris d'escalfament global per al nord de l'Amèrica del Sud (Solomon *et al.*, 2007).

Escenari	2011-2030	2046-2065	2080-2099
B1	0,5-1 °C	1,5-2 °C	2-2,5 °C
A2	0,5-1 °C	2-2,5 °C	3,5-4 °C

sense una oscil·lació significativa entre estacions (Huber, 1989, 1995a), mentre que les mitjanes de precipitació total anual són de 2.500-4.000 mm, sense veritable estació seca (la precipitació disminueix significativament entre els mesos de desembre i març, però no se situa mai per sota de 60 mm) (Berry *et al.*, 1995).

### Avaluació del risc de pèrdua d'hàbitat

Puix que no existeix informació sobre les característiques i relacions ecològiques de les espècies de la flora vascular de Pantepui, hem optat per abordar l'avaluació de la pèrdua de biodiversitat a Pantepui començant per les endèmiques, ja que la seva extinció representaria una pèrdua global. Un paràmetre clau en aquest context és l'augment de temperatura necessari per a produir la pèrdua d'hàbitat de cada espècie per migració ascendent (TPH), que s'ha obtingut aplicant l'anàlisi del Desplaçament del Rang Altitudinal (DRA) (Rull i Vegas-Vilarrúbia, 2006), un mètode senzill de simulació que ha estat aplicat amb èxit a les TAG i que és especialment útil per a l'avaluació de l'efecte de les migracions ascendents en els ecosistemes de muntanya (Rull *et al.*, 2005; Raxworthy *et al.*, 2008; Sekercioglu *et al.*, 2008; Nogué, 2009; Nogué *et al.*, 2009).

Per tal d'aplicar el DRA a cadascuna de les 771 espècies endèmiques, s'ha utilitzat una base de dades que conté totes les espècies conegudes de Pantepui (Nogué, 2009). De cada espècie, la base de dades proporciona la informació sobre el gènere i família a la qual pertany, el seu rang altitudinal de distribució, el grau d'endemisme (si és endèmica de Pantepui, d'un districte o d'un sol tepui) i dades de localització. Les dades que la componen s'han extret de la "Flora of the Venezuelan Guayana" (Steyermark *et al.*, 1995-2005), que conté aproximadament 9.400 espècies conegudes. Aquesta informació s'ha completat amb les dades obtingudes a partir d'altres fonts bibliogràfiques (Berry *et al.*, 1995; Berry i Riina, 2005).

Els escenaris climàtics considerats corresponen a l'últim informe de l'IPCC (Solomon *et al.*, 2007), en els quals se subdivideix l'augment de temperatura previst per aquest segle en tres períodes: 2011-2030, 2046-2065 i 2080-2099. A les TAG, i en general al nord d'Amèrica del Sud, l'IPCC pronostica, per a cadascun dels tres períodes, els augments de temperatura que es mostren a la taula 1. Per a aquest estudi hem escollit dos escenaris d'escalfament: B1 i A2, que són els més extrems, per a tenir estimacions màximes i mínimes.

Un cop tenim la projecció d'augment de temperatura a cada període, comparant-la amb el TPH de cada espècie, podem saber si aquesta podrà perdre el seu hàbitat potencial, i en quin període ho farà. Per exemple, si l'augment de temperatura projectat per l'IPCC l'any 2030 és d'1°C i el TPH de l'espècie és de 0,9°C, aquesta haurà perdut l'hàbitat abans del 2030. D'aquesta manera, el paràmetre TPH permet predir si una espècie s'extingirà, i quan ho farà. Com a resultat, obtenim tres grups de risc per a cada escenari, que depenen de la velocitat a què les espècies perden l'hàbitat (taula 2). Les més amenaçades serien les que haurien perdut l'hàbitat el 2030, seguides per les que ho haurien fet el 2065 i el 2099, respectivament. Els resultats del l'anàlisi DRA mostrats a la taula 2 s'han obtingut de Nogué (2009) i es troben actualment en revisió. Malgrat això, la magnitud de les extincions previstes es preveu que no variï significativament.

En el primer període, les prediccions d'extinció d'espècies coincideixen per als dos escenaris (43 espècies; 5,6%), ja que l'increment de temperatura pronosticat per a aquest període és d'1°C per als dos escenaris. En el segon període, l'escenari B1 estima un augment de temperatura de 2°C, que es traduiria en l'extinció de 79 espècies (valor acumulat: 122; 15,8%), mentre que l'A2 preveu un escalfament de 2,5°C, que implicaria la desaparició de 126 espècies (valor acumulat: 169; 21,9%). Per tant, una diferència aparentment petita de mig grau podria significar que 47 espècies més s'haguessin extingit l'any 2065. Augments posteriors de temperatura de 2,5°C (B1) i 4°C (A2) esperats en el tercer període podrien causar la desaparició de 47 espècies pel B1 (valor acumulat: 169; 21,9%)

Taula 2. Nombre d'espècies amb previsió d'extinció per a cada període i escenari d'escalfament (Nogué, 2009). Sp = nombre d'espècies;  $\Delta T$  = augment de temperatura projectat a cada període; PH = espècies que perden l'hàbitat (en nombre i percentatge sobre el total d'espècies endèmiques). Els resultats entre parèntesis indiquen els valors acumulats dels períodes anteriors. Els augments de temperatura s'han obtingut de Solomon *et al.*, 2007.

	2010 Sp	2011-2030			2046-2065			2080-2099		
		$\Delta T$	PH	% PH	$\Delta T$	PH	% PH	$\Delta T$	PH	% PH
B1	771	1°C	43	5,6	2°C	79 (122)	10,2 (15,8)	2,5°C	47 (169)	6,1 (21,9)
A2	771	1°C	43	5,6	2,5°C	126 (169)	16,3 (21,9)	4°C	152 (321)	19,7 (41,6)



i 152 per l'A2 (valor acumulat: 321; 41,6%). També hem identificat un grup d'espècies que l'any 2099 encara no s'haurien extingit perquè tenen un rang altitudinal més alt de distribució. No obstant això, podrien veure's seriosament afectades per una reducció i/o fragmentació severa dels seus hàbitats. Sota els escenaris d'escalfament considerats serien 602 espècies (78,1%) pel B1 i 450 (58,4%) per l'A2. A cap de les 771 espècies incloses en aquest estudi els quedaria hàbitat potencial després d'un augment de temperatura de 9,5°C, el qual representaria un desplaçament altitudinal superior a 1.500 m.

### Tècniques de conservació aplicables quan l'hàbitat desapareix: el cas de Pantepui

En vista de la pèrdua de biodiversitat pronosticada pels nostres models per al final de segle a Pantepui, són necessàries mesures de conservació concretes i efectives. De manera general, la millor estratègia per a la conservació a llarg termini de la diversitat biològica d'espècies silvestres és la preservació en el seu hàbitat natural, dins les comunitats de les quals formen part (conservació *in situ*) (Frankel, 1995; Primack, 2002; Hernández Bermejo, 2008). No obstant això, en el cas de Pantepui, si el desplaçament esperat dels hàbitats per l'escalfament global és realista, la conservació amb mesures de protecció ambiental *in situ* no sembla viable.

En aquestes circumstàncies és probable que l'única manera de prevenir aquestes espècies de l'extinció sigui mantenir-les en condicions artificials, sota la supervisió dels humans (conservació *ex situ*) (Kleiman *et al.*, 1996). La conservació *ex situ* d'espècies amenaçades recau sobretot en els jardins botànics, on la conservació de les espècies es duu a terme en forma de germoplasma (llavors, espores o qualsevol altra part de la planta que en permeti la reproducció) (Witt, 1985). La limitació més important de les tècniques *ex situ* és que el germoplasma conservat pot representar només una porció limitada de la dotació genètica de les espècies (Primack, 2002), afavorint així els genomes presents en les poblacions mostrejades.

Una tècnica de conservació *ex situ* alternativa que es podria tenir en compte en el nostre cas és la colonització assistida (Hunter, 2007; McLachlan *et al.*, 2007; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2008; Richardson *et al.*, 2009; Minter i Collins, 2010), la qual es refereix a la pràctica de repoblar intencionadament membres d'una espècie des del seu hàbitat actual a una nova regió, amb l'objectiu d'establir-hi una presència permanent. Aquesta opció va sorgir com a resposta a la degradació dels hàbitats naturals per l'activitat humana i ha resultat força controvertida pel desconeixement de les possibles conseqüències de la introducció de les

espècies translocades sobre les comunitats receptores (Davidson i Simkanin, 2008; Ricciardi i Simberloff, 2009; Seddon *et al.*, 2009).

*Conservació de germoplasma: llavors, pol·len, cultiu in vitro*

#### Bancs de llavors

Els bancs de germoplasma dedicats a les llavors són un dels mètodes més comuns de conservació de la diversitat vegetal en condicions *ex situ*. L'emmagatzematge a llarg termini de llavors està ben estudiat i és àmpliament aplicat des de fa dècades. A més a més, són l'agent de dispersió més freqüent i amb més capacitat de regenerar una planta vascular completa a llarg termini. Les llavors poden ser emmagatzemades a baixes (-18°C) o molt baixes temperatures (crioconservació, -196°C). La crioconservació podria garantir la preservació de llavors viables durant un període més gran de temps (Nikishina *et al.*, 2001; Arapetyan *et al.*, 2004; Walters *et al.*, 2004; Pritchard, 2007; Kholina i Voronkova, 2008). Malgrat això, existeix un tipus de llavors que no poden ser dessecades sense una pèrdua de la viabilitat; són les anomenades llavors recalcitrants, les quals podrien ser conservades mitjançant bancs de pol·len, col·leccions de propàguls, col·leccions sota cultiu, etc.

Iniciat l'any 2000, el *Millenium Seed Bank Project* (MSBP, <http://www.kew.org>), de Kew Gardens, ha demostrat la idoneïtat d'aquesta tècnica en la conservació d'espècies amenaçades pel canvi climàtic. Aquest es basa en la recol·lecció, conservació i estudi de llavors de plantes silvestres de tot el món. A una escala inferior, el projecte SEMCLIMED (Semilla, Clima y Mediterráneo, <http://www.semclimed.org>), ha estat dedicat a l'estudi de l'impacte del canvi climàtic sobre certs grups de la flora silvestre de la conca mediterrània i a la conservació mitjançant l'emmagatzematge preventiu de llavors. A Veneçuela també hi ha experiència en bancs de llavors, com ara el "Banco Nacional de Semillas" del "Centro Nacional de Conservación de los Recursos Fitogenéticos" (CNCRF). A partir dels resultats d'aquest estudi es podrien fer recomanacions de conservació per tal que instal·lacions com aquesta s'adherissin a l'objectiu de preservar la flora endèmica de les TAG.

#### Bancs de pol·len

El pol·len es recull amb fins d'investigació bàsica o aplicada (Hoekstra, 1995; Dafni *et al.*, 2004). Pel que fa a la conservació, per si sol el pol·len no permet regenerar una planta, però podria ser útil per a pol·linitzar altres individus o per conservar la informació genètica dels individus masculins d'una determina-





da espècie. La crioconservació és el mètode d'emmagatzematge més utilitzat (Towill, 1985; Ganeshan, 1986; Hecker *et al.*, 1986; Bowes, 1990; Hanna i Towill, 1995; Barnabás i Kovács, 1997; Maguire i Sedgley, 1997; Towill i Walters, 2000; Yamaguchi i Ishikawa, 2000; Honda *et al.*, 2002; Parton *et al.*, 2002; Lora *et al.*, 2006; Ganeshan *et al.*, 2008), tot i que el temps màxim de conservació pot ser només d'alguns anys. Així doncs, la capacitat dels bancs de pol·len per a protegir les espècies en perill d'extinció per l'escalfament global és, com a mínim, limitada. A més a més, no tots els grans de pol·len poden ser conservats amb les mateixes tècniques (Hoekstra, 1995). A dia d'avui no es coneixen programes de conservació de pol·len de plantes silvestres que tinguin la finalitat específica de preservar-les del canvi climàtic.

#### Cultiu *in vitro*

El cultiu *in vitro* es defineix com el cultiu en medi nutritiu i sota condicions estèrils de plantes, llavors, embrions, òrgans, explants, teixits, cèl·lules i protoplasts de plantes superiors (Prerik, 1987). Tot i que la conservació *in vitro* ha estat principalment escollida per a espècies d'interès agrícola, alguns bancs de germoplasma l'estan estenent a espècies silvestres, d'interès ecològic, amenaçades o en perill d'extinció (Benson, 1999; Pence, 1999; Panis *et al.*, 2001; Volk i Walters, 2003; Harvengt *et al.*, 2004; Popov *et al.*, 2006). La preservació *in vitro* permet la conservació i micropropagació d'espècies estèrils, clonals o amb llavors recalcitrants (Frankel, 1995). Algunes limitacions d'aquest sistema són el requeriment d'una tecnologia de més alt nivell i la necessitat d'establir protocols específics per a la major part d'espècies (Bacchetta *et al.*, 2008). A Veneçuela l'any 2008 es va acabar de construir el "Laboratorio de Cultivo in Vitro del Jardín Botánico de Caracas", el qual també podria beneficiar-se de les recomanacions de conservació efectuades a partir d'estudis com aquest.

#### Conservació dels elements de la comunitat: col·leccions sota cultiu

Fins ara només hem considerat la conservació d'espècies individuals i de les seves diàspores, sense tenir en compte la comunitat de la qual formen part. Tradicionalment, els jardins botànics han conservat les espècies d'una regió de manera aïllada, és a dir, sense cap referència a la resta de plantes del seu ambient natural. Tanmateix, existeix un enfocament ecològic que pretén agrupar en la mateixa àrea del jardí aquelles espècies que pertanyen a la mateixa regió geogràfica. Aquest enfocament és actualment poc utilitzat, però

els jardins botànics que l'han adoptat, com el Jardí Botànic de Valdivia (Xile, <http://www.bgci.org/worldwide/article/363>), han aconseguit reconstruir amb èxit les principals formacions vegetals que conformen el paisatge de la regió circumdant al jardí.

La conservació dels elements de les comunitats en jardins botànics no permetrà reproduir a curt termini les comunitats actuals a la natura, ja que la seva viabilitat no només depèn de la correcta agrupació de les espècies, sinó també de la necessària coevolució entre elles. Malgrat això, considerem adequada aquesta tècnica, perquè representaria un mètode experimental per aprofundir en el coneixement ecològic d'aquestes comunitats i els seus mecanismes d'integració. L'experiència guanyada podria servir per colonitzar nous indrets en el futur, amb més probabilitats d'establir combinacions reeixides en un ambient diferent de l'original. Per altra banda, les col·leccions sota cultiu representen una important alternativa, especialment quan el material per conservar presenta llavors de comportament recalcitrant (Hernández Bermejo, 2008). No obstant això, també tenen alguns inconvenients, com són el cost derivat de la construcció i manteniment dels hivernacles i de l'elevada superfície que ocupen.

#### Conservació de l'ecosistema: colonització assistida a la serralada dels Andes

En vista de les projeccions més pessimistes d'augment de la temperatura al planeta (321 espècies amb un augment de 4°C per al final de segle) (Solomon *et al.*, 2007), les pràctiques de conservació en jardins botànics o bancs de germoplasma poden no ser suficients per evitar la pèrdua d'un nombre tan elevat d'espècies. Cal doncs, diversificar les estratègies de conservació. En aquest sentit, quan l'hàbitat desapareix una alternativa de gestió podria ser moure espècies a zones on aquestes no es donen o no es coneix que s'hagin donat en la història recent però que, malgrat l'escalfament, mantindran condicions similars a les que tenen avui les espècies amenaçades.

Per a alguns, la idea de moure espècies deliberadament és vista amb cert recel (Schwartz, 2005; Davidson i Simkanin, 2008; Ricciardi i Simberloff, 2009; Seddon *et al.*, 2009), ja que el fet de moure espècies més enllà del seu rang actual ha tingut impactes tan negatius com la creació d'espècies invasores (Pyšek *et al.*, 2004). De tota manera, la nostra visió és que un coneixement més gran dels requeriments de l'hàbitat i de la distribució d'algunes espècies permet identificar les situacions de baix risc en què els beneficis de la colonització assistida són apreciablement millors que les conseqüències adverses. En qualsevol cas, la introducció d'espècies a





nous emplaçaments s'ha de recolzar en estudis ecològics i biogeogràfics ben fonamentats i necessita ser planificada cuidadosament per tal d'assegurar que les espècies no malmetin el nou ecosistema o perjudiquin les poblacions de qualsevol espècie local en perill (Primack, 2002, Rull *et al.*, 2009).

Un dels casos més ben coneguts de colonització assistida és la transferència de *Torreya taxifolia*, una espècie de conífera de Florida amb un rang de distribució molt estret. L'any 2008 un grup de botànics, ecòlegs i ambientòlegs que es fan anomenar "The Torreya Guardians" (<http://www.torreyaguards.org>) van plantar 31 plàntules de *Torreya taxifolia* a Carolina del Nord (uns 700 km cap al nord-est). Un cas una mica diferent és el de *Narcissus cavanillesii*, una espècie endèmica del sud de la Península i Nord d'Àfrica, protegida per la Directiva Hàbitat 92/43/CEE. Una de les dues úniques poblacions conegudes a Portugal anava a ser inundada per un embassament si no s'hagués realitzat una operació de translocació, pionera en l'àmbit de la conservació de plantes a la península Ibèrica. L'èxit a llarg termini de les poblacions de *Torreya taxifolia* i *Narcissus cavanillesii* desplaçades és un aspecte que encara no s'ha pogut determinar, malgrat que els propers anys permetran una avaluació dels resultats, després del seguiment de les poblacions en les seves noves ubicacions.

En el cas de Pantepui, segons Rull (2004), la biota i les comunitats dels cims tepuians són molt diferents tant de la resta de la regió guayanesa com també de qualsevol altre bioma del món. Només s'han trobat algunes similituds de caire fisiognòmic amb els arbustars paramoides de la Serralada dels Andes, que es troben per sobre de la línia dels arbres. D'acord amb el nostre coneixement, una possibilitat seria que algunes espècies siguin transportades a la zona tropical dels Andes, ja que segons aquesta primera avaluació, engloba un tipus de formació vegetal semblant a les de l'hàbitat natural, la qual podria permetre l'adaptació d'algunes espècies tepuianes. A més a més, és un emplaçament proper a l'original i sobretot, té més altitud, la qual permetrà la supervivència de les espècies encara que es produeixi l'escalfament màxim previst per aquest segle.

### Conclusions i estudis futurs

Tot i que les tècniques *in situ* conegudes semblen incapaces de conservar a llarg termini les espècies amenaçades, l'establiment d'àrees estrictament protegides en els tepuis més biodiversos o amb més espècies endèmiques podria evitar que es produeixi un empitjorament de l'estat de conservació de les espècies que tard o d'hora es veuran afectades

per la pèrdua d'hàbitat. Això facilitaria l'aplicació de la resta de tècniques de conservació *ex situ*. D'aquestes, la creació d'un banc de germoplasma (amb especial èmfasi en les llavors) seria l'acció més immediata. Seguidament s'hauria d'estudiar la creació de col·leccions sota cultiu en jardins botànics i microrefugis artificials controlats en els Andes septentrionals (Hobbs *et al.*, 2009; Marris, 2009; Rull *et al.*, 2009).

La combinació d'aquestes tècniques de conservació a Pantepui minimitzaria el risc d'extinció d'aquestes espècies en perill i per tant, ajudaria a conservar el patrimoni florístic tan important que gaudeix aquesta regió. Cal recordar que les TAG ja han estat reconegudes internacionalment per la gran diversitat d'espècies vegetals que contenen. És evident que no podem deixar escapar l'oportunitat de protegir aquestes espècies, per això hem d'abastir-nos de les tècniques i coneixements actualment disponibles per a posar en marxa les accions de conservació abans que sigui massa tard.

Aquestes accions es fonamenten en l'adaptació al canvi climàtic, però no hem d'oblidar que frenar l'escalfament global és l'única garantia de supervivència per a les espècies de plantes endèmiques de Pantepui. És per això que considerem que la mitigació dels efectes del canvi climàtic ha de ser la primera prioritat en les polítiques mediambientals. Recentment, alguns estudis han donat suport a aquesta tesi, ja que prediuen amb models climàtics que si som capaços d'eliminar totalment les emissions de diòxid de carboni, la concentració d'aquest a la troposfera (Matthews i Weaver, 2010) i la temperatura (Meehl *et al.*, 2007) s'estabilitzarien o fins i tot disminuirien en les properes dècades.

D'altra banda, cal tenir en compte que de les espècies estudiades, pràcticament només se'n coneix la presència, ja que encara no s'han realitzat els estudis adequats. Des del punt de vista d'espècie, caldria tenir dades sobre la seva reproducció, cicle biològic, fisiologia, capacitat de dispersió, juntament amb estudis fitogenètics. En aquest sentit, les espècies conservades en qualsevol de les formes *ex situ* permetran avançar en la seva recerca. Pel que fa a l'ecosistema, és necessari obtenir informació sobre l'autocologia (relació d'una espècie amb els factors abiòtics del medi) de les espècies, aspecte fonamental per a poder dur a terme qualsevol de les estratègies de conservació plantejades. A part d'això, són necessaris estudis sostinguts en el temps del rang i altitud de distribució de les espècies, així com registres de la temperatura, per tal de determinar la reducció i pèrdua de l'hàbitat i calcular la taxa de migració en cada moment de les espècies de plantes vasculares tepuianes. En aquest sentit, fa poc hem iniciat



un projecte que pretén verificar la realitat de la migració ascendent a Pantepui a través de: 1) la comparació de la flora i vegetació actuals d'un tepui tipus (el Roraima) amb les observades en expedicions històriques, per determinar les possibles migracions històriques (~100 anys), associades a l'escalfament global mitjà des de l'inici de l'era industrial, i 2) l'establiment de les bases ecològiques, botàniques i ambientals necessàries per instal·lar un observatori permanent dins del GLORIA, per monitoritzar el mateix fenomen en el futur.

### Agraïments

Els autors volem donar les gràcies a l'Ajuntament i al Museu de Mataró per la invitació a presentar aquest treball en públic. Aquest treball ha estat finançat pel Programa de Conservació de la Biodiversitat de la Fundació BBVA, i s'emmarca dins del projecte "Conservació de la biodiversitat enfront de l'escalfament global a les Terres Altes de Guayana (nord d'Amèrica del Sud). Fase II: migracions recents i futures (PANTEPUI-II)", amb seu a l'Institut Botànic de Barcelona (CSIC) (ref. BIOCON08-031).

### Bibliografia

- Arapetyan, E., Bondar, V., Prokopiv, A. i Nadraga, M. (2004). Conservation of Natural Flora Seeds by Cryopreservation. *Visnyk of the Lviv University, Series Biology*, 36: 186-189.
- Araújo, M.B., Pearson, R., Thuillers, W. i Erhad, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9): 1504-1513.
- Bacchetta G., Bueno Sánchez A., Fenu G., Jiménez-Alfaro B., Mattana E., Piotta B. i Virevaire M. (2008). *Conservación ex situ de plantas silvestres*. Principado de Asturias / La Caixa.
- Barnabás, B. i Kovács, G. (1997). Storage of pollen. In: K.R. Shivanna i V.K. Sawhney (eds.), *Pollen Biotechnology for Crop Production and Improvement*, pp. 293-314. Cambridge University Press, Cambridge.
- Benson, E. (1999). Cryopreservation. In: *Plant Conservation Biotechnology*, pp. 83-95. E. E. Benson, Londres.
- Berry, P.E., Holst, B.K. i Yatskievych, K. (1995). Introduction. In: *Flora of the Venezuelan Guayana*, pp. 15-20. J.A. Steyermark, P.E. Berry i B.K. Holst, Missouri Botanical Gardens Press, St. Louis.
- Berry, P.E. i Riina, R. (2005). Insights into the diversity of the Pantepui flora and the biogeographic complexity of the Guayana Shield. *Biologiske Skrifter*, 55: 145-167.
- Bowes, S.A. (1990). Long-term storage of *Narcissus* anthers and pollen in liquid nitrogen. *Euphytica*, 48(3): 275-278.
- Bowman, W. (2005). The response of alpine plants to environmental change. Feedbacks to ecosystem function. In: U. Huber, H. Bugmann i M. Reasoner (eds.), *Global Change and Mountain Regions. An overview of current knowledge*, pp. 377-382. Springer, Dordrecht.
- Bryant, D., Nielsen, D. i Tangle, L. (1997). *The Last Frontier Forests, Ecosystems and Economies on the Edge*. Washington D.C..
- Dafni, A., Pacini, E. i Nepi, M. (2004). Pollen and stigma biology. In: A. Dafni i P. Kvan (eds.) *Methods in Pollination Ecophysiology*. Enviroquest, Cambridge, Canada.
- Davidson, I. i Simkanin, C. (2008). Skeptical of assisted colonization. *Science*, 322(5904): 1048-1049.
- Davis, S., Heywood, V. i Hamilton, A. (1994-1997). *Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation*. IUCN Publications Unit. Cambridge.
- Delibes, M. (2004). La acción humana y la crisis de biodiversidad. In: M. Gomendio (ed.), *Los retos ambientales del siglo XXI: La problemática de la conservación de la biodiversidad en España*, pp. 23-38. Fundació BBVA, Bilbao.
- Dirnböck, T., Dulliger, S. i Grabherr, G. (2003). A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30(3): 401-417.
- Ebenman, B. i Jonsson, T. (2005). Using community viability analysis to identify fragile systems and keystone species. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(10): 568-575.
- Erschbamer B., Kiebacher, T., Mallaun M. i Unterluggauer P. (2009). Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps, *Plant Ecology*, 202(1): 79-89
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. i Van Dorland, R. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor i H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 129-234. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Frankel, O.H., Brown, A.H.D. i Burdon, J.J. (1995). *The conservation of plant biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ganeshan, S. (1986). Cryogenic preservation of papaya pollen. *Scientia Horticulturae*, 28(1-2): 65-70.
- Ganeshan, S., Rajasekharan, P.E., Shashikumar, S. i Decruze, W. (2008). Cryopreservation of Pollen. In: M.R. Barbara (ed.), *Plant*



- Cryopreservation: A Practical Guide*, pp. 443-464. Springer, Nova York.
- Gottfried, M., Pauli, H. i Grabherr, G. (1994). Die Alpen im "Treibhaus": Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, München* 59: 13-27.
- Gottfried, M., Pauli, H., Reiter, K. i Grabherr, G. (1999). A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate change. *Diversity and Distributions*, 5(6): 241-251.
- Grabherr, G., Gottfried, M. i Pauli, H. (1994). Climate effects on mountain plants. *Nature*, 369(6480): 448.
- Grabherr, G., Gottfried, M. i Pauli, H. (2000). GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. *Mountain Research and Development*, 20 (2): 190-191.
- Grabherr, G.; Gottfried, M. i Pauli, H. (2001). Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps. In: C.A. Burga, i A. Kratochwil (eds.), *Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales, vol 35. Tasks for Vegetation Science*, pp 153-177. Kluwer, Dordrecht.
- Graumlich, L.J., Waggoner, L.A. i Bunn, A.G. (2005). Detecting global change at Alpine Treeline: Coupling Paleoecology with Contemporary Studies. In: U.M. Huber, H. Bugmann i M. Reasoner (eds.), *Global change and mountain regions. An overview of current knowledge*, pp. 501-510. Springer, Dordrecht.
- Hanna, W.W. i Towill, L.E. (1995). Long-term pollen storage. *Plant Breeding Reviews*, 13: 179-207.
- Harvengt, L., Meier-Dinkel, A., Dumas, E. i Collin, E. (2004). Establishment of a cryopreserved gene bank of European elms. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 43-55.
- Hecker, R.J., Stanwood, P.C. i Soulis, C.A. (1986). Storage of sugarbeet pollen. *Euphytica*, 35(3): 777-783.
- Hegerl, G.C., Zwiers, F.W., Braconnot, P., Gillett, N.P., Luo, Y., Marengo Orsini, J.A., Nicholls, N., Penner, J.E. i Stott, P.A. (2007). Understanding and Attributing Climate Change. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor i H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 663-774. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Hernández Bermejo, J.E. (2008). La respuesta de la conservación ex situ en el mundo vegetal. Nuevas técnicas frente al impacto del Cambio Climático y Global sobre la Biodiversidad. In: *Biodiversidad*, pp. 115-127. Generalitat Valenciana, València.
- Hobbs, R.J., Higgs, E., Harris, J.A. (2009). Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(11): 599-605.
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D.B., Parmesan, C., Possingham, H. P. i Thomas, C.D. (2008). Assisted Colonization and Rapid Climate Change. *Science*, 321(5887): 345-346.
- Hoekstra F.A. (1995). Collecting pollen for genetic resources conservation. In: L. Guarino, V. Ramanantha Rao i R. Reid (eds.), *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical guidelines*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Holzinger, B., Hülber, K., Camenisch, M. i Grabherr, G. (2008). Changes in plant species richness over the last century in the eastern Swiss Alps: elevational gradient, bedrock effects and migration rates. *Plant Ecology*, 195(2): 179-196.
- Honda K., Watanabe, H. i Tsutsui, K. (2002). Cryopreservation of *Delphinium* pollen at -30 °C. *Euphytica*, 126(3): 315-320.
- Huber, O. (1988). Guayana Highlands versus Guayana Lowlands: a reappraisal. *Taxon*, 37(3): 595-614.
- Huber, O. (1989). Shrublands of the Venezuelan Guayana. In: L. B. Hom-Nielsen, I. C. Nielsen, i H. Balslev (eds.), *Tropical Forests: botanical dynamics, speciation and diversity*, pp. 271-285. Academic Press, Londres.
- Huber, O. (1994). Recent advances in the phytogeography of the Guayana region, South America. *Mémoires de la Société Biogéographique (3 Série)*, 4: 53-63.
- Huber, O. (1995a). Geographical and Physical Features. In: J.A. Steyermark, P.E. Berry i B.K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, pp. 1-62. Missouri Botanical Gardens Press, St. Louis.
- Huber, O. (1995b). Vegetation. In: J.A. Steyermark, P.E. Berry i B.K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, pp. 97-218. Missouri Botanical Gardens Press, St. Louis.
- Hunter, M.L. (2007). Climate change and moving species: furthering the debate on assisted colonization. *Conservation Biology*, 21(5): 1356-1358.
- IPCC (1990). *IPCC First Assessment Report 1990 (FAR)* (3 vols). Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- IPCC (1995). *IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR)* (3 vols). Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- IPCC (2001). *IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR)* (3 vols). Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- IPCC (2007). *IPCC Fourth Assessment Report:*





- Climate Change 2007 (AR4)* (3 vols). Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Jackson, S.T. i Overpeck J.T. (2000). Responses of plant populations and communities to environmental changes of the Late Quaternary. *Paleobiology*, 26(4): 194-220.
- Jansen, E., Overpeck, J., Briffa, K.R., Duplessy, J.-C., Joos, F., Masson-Delmotte, V., Olago, D., Otto-Bliesner, B., Peltier, W.R., Rahmstorf, S., Ramesh, R., Raynaud, D., Rind, D., Solomina, O., Villalba, R. i Zhang, D. (2007). Palaeoclimate. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor i H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 433-497. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Keller F., Kienast F. i Beniston M. (2000). Evidence of response of vegetation to climatic change on high elevation sites in the Swiss Alps. *Regional and Environmental Change*, 1(2): 70-77.
- Kholina, A.B. i Voronkova, N.M. (2008). Conserving the gene pool of Far Eastern plants by means of seed cryopreservation. *Biology Bulletin*, 35(3): 262-269.
- Kleiman, D.G., Allen, M.E., Thompson, K.V. i Lumpkin, S. (1996). *Wild Mammals in Captivity: Principles and Techniques*. University of Chicago Press, Chicago.
- Kullman, L. (2007). Modern climate change and shifting ecological states of the subalpine / alpine landscape in the Swedish Scandes. *Geo-öko*, 28: 187-221.
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T. i Prather, M. (2007). Historical Overview of Climate Change. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 93-127. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Lora, J., Pérez de Oteyza, M.A., Fuentetaja, P. i Hormaza, J.I. (2006). Low temperature storage and in vitro germination of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) pollen. *Scientia Horticulturae*, 108(1): 91-94.
- Lynch, J.P. i St.Clair, S.B. (2004). Mineral stress: the missing link in understanding how global climate change will affect plants in real world soils. *Field Crops Research*, 90(1): 101-115.
- Maguire, T.L. i Sedgley, M. (1997). Storage temperature affects viability of *Banksia menziesii* pollen. *Hortscience*, 32(5): 916-917.
- Marris, E. (2009). Ragamuffin Earth. *Nature*, 460(7254): 450-453.
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. i White, K.S. (2001). *Climate change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- McLachlan, J.S., Hellmann, J.J. i Schwartz, M.W. (2007). A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *Conservation Biology*, 21(2): 297-302.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. and Zhao, Z.C. (2007). Global Climate Projections. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Minteer, B.A. i Collins, J.P. (2010). Move it or lose it? The ecological ethics of relocating species under climate change. *Ecological Applications*, 20(7): 1801-1804.
- Mittermeier, R.A., Gil, P.R. i Mittermeier, C.G. (1997). *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. Conservation International, Washington D.C.
- Nakićenović, N. i Swart, R. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Nikishina, T.V., Popov, A.S., Kolomeitseva, G.L. i Golovkin, B.N. (2001). Effect of Cryopreservation on Seed Germination in Rare Tropic Orchids. *Fiziologiya Rastenii*, 48(6): 930-936.
- Nogué, S. (2009). *Global warming and biodiversity conservation in the Guayana Highlands: paleoecology, biogeography and GIS modelling*. PhD thesis, Universitat de Barcelona.
- Nogué, S., Rull, V. i Vegas-Vilarrúbia, T. (2009). Modeling biodiversity loss by global warming on Pantepui, northern South America: projected upward migration and potential habitat loss. *Climate Change*, 94(1-2): 77-85.
- Olson, D.M. i Dinerstein E. (1998). The Global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology*, 12(3): 502-515.
- Overpeck, J.T., Whitlock, K. i Huntley, B. (2003). Terrestrial biosphere dynamics in



- the climate system: past and future. *In*: K.D. Alverson, R.S. Bradley i T.F. Pedersen (eds.), *Paleoclimate, global change and the future*, pp. 81-103. Springer, Berlin.
- Panis B., Swennen R. i Engelmann F. (2001). Cryopreservation of plant germplasm. *Acta Horticulturae*, 560: 79-86.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637-669.
- Parmesan, C. i Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918): 37-42.
- Parton, E., Vervaeke, I., Delen, R., Vandebussche, B., Deroose, R. i De Proft, M. (2002). Viability and storage of bromeliad pollen. *Euphytica*, 125(2): 155-161.
- Pauli, H., Gottfried, M. i Grabherr G. (1996). Effects of Climate Change on Mountain Ecosystems – Upward Shifting of Alpine Plants. *World Resource Review*, 8(3): 382-390.
- Pauli, H., Gottfried, M. i Grabherr, G. (2001). High summits of the Alps in a changing climate. The oldest observation series on high mountain plant diversity in Europe. *In*: G.-R. Walther, C.A. Burga i P.J. Edwards (eds.), *"Fingerprints" of climate change - adapted behaviour and shifting species ranges*, pp. 139-149. Kluwer Academic Publisher, Nova York.
- Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter, K. i Grabherr, G. (2005). Ecological climate impact research in high mountain environments: GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) – its roots, its purpose and the long-term perspectives. *In*: U. Huber, H. Bugmann i M. Reaser (eds.), *Global Change and Mountain Regions. An overview of current knowledge*, pp. 383-392. Springer, Dordrecht.
- Pauli H., Gottfried M., Reiter K., Klettner C. i Grabherr G. (2007). Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA\* master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology*, 13(1): 147-156.
- Pence V.C. (1999). The application of biotechnology for the conservation of endangered plants. *In*: E.E. Benson (ed.), *Plant Conservation Biotechnology*, pp. 227-250. Taylor & Francis, Ltd.
- Peñuelas, J. i Boada, M. (2003). A global change-induced biome shifting in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9(2): 131-140.
- Pickering, C., Hill, W. i Green, K. (2008). Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Snowy Mountains, Australia. *Biodiversity and Conservation*, 17(7): 1627-1644.
- Popov, A.S., Popova, E.V., Nikishina, T.V. i Vyotskaya, O.N. (2006). Cryobank of plant genetic resources in Russian Academy of Sciences. *International Journal of Refrigeration* 29(3): 403-410.
- Prerik, R.L.M. (1987). *In vitro culture of higher plants*. Martinus Nijhoff Publishers, Boston.
- Primack, R.B. (2002). *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts.
- Pritchard, H.W. (2007). Cryopreservation of Desiccation-Tolerant Seeds. *In*: J.G. Day i G.N. Stacey (eds.), *Methods in Molecular Biology, Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols*, pp. 185-201. Humana Press, Totowa, Nova Jersey.
- Pyšek, P., Richardson, D.M., Rejmánek, M., Webster, G.L., Williamson, M. i Kirschner, J. (2004). Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*, 53(1): 131-143.
- Raxworthy, C.J., Pearson, R.G., Rabibisoa, N., Rakotondrazafy, A.M., Ramanamanjato, J.-B., Raselimanana, A.P., Wu, S., Nussbaum, R.A. i Stone, D.A. (2008). Extinction vulnerability of tropical montane endemism from warming and upslope displacement: a preliminary appraisal for the highest massif in Madagascar. *Global Change Biology*, 14(8): 1703-1720.
- Ricciardi, A. i Simberloff, D. (2009). Assisted colonization is not a viable conservation strategy. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(5): 248-253.
- Richardson, D.M., Hellmann, J.J., McLachlan, J.S., Sax, D.F., Schwartz, M.W., Gonzalez, P., Brennan, E.J., Camacho, A., Root, T.L., Sala, O.E., Schneider, S.H., Ashe, D.M., Clark, J.R., Early, R., Etterson, J.R., Fielder, E.D., Gill, J.L., Minter, B.A., Polasky, S., Safford, H.D., Thompson, A.R. i Vellend, M. (2009). Multidimensional evaluation of managed relocation. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 106(24): 9721-9724.
- Roos, E.E. (1989). Long term seed storage. *Plant Breeding Reviews*, 7: 129-158.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C. i Pounds, A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918): 57-60.
- Rull, V. (2004). Biogeografía histórica de las Tierras Altas de Guayana y origen de la biodiversidad neotropical. *Orsis*, 19: 37-48.
- Rull, V. (2005). Biotic diversification in the Guayana Highlands: a proposal. *Journal of Biogeography*, 32(6): 1-7.
- Rull, V. (2009). Pantepui. *In*: R.G. Gillespie i D.A. Clague (eds.), *Encyclopedia of Islands*, pp. 717-720. University of California Press, Berkeley.



- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T. i Nogué, S. (2005). Cambio climático y diversidad de la flora vascular en las montañas tabulares de Guayana. *Orsis*, 20: 61-71.
- Rull, V. i Vegas-Vilarrúbia, T. (2006). Unexpected biodiversity loss under global warming in the neotropical Guayana Highlands. *Global Change Biology*, 12(1): 1-9.
- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Nogué, S. i Huber, O. (2009). Conservation of the unique neotropical vascular flora from the Guayana Highlands in the face of global warming. *Conservation Biology*, 23(5): 1323-1327.
- Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A.V. i Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 52(10): 891-904.
- Sanz, J.J. (2004). Las aves responden al cambio climático. *La Garcilla*, 120: 16-19.
- Schwartz, M. (2005). Conservationists should not move *Torreya taxifolia*. *Wild Earth*, 2005: 73-79.
- Seddon, P.J., Armstrong, D.P., Soorae, P., Lounay, F., Walker, S., Ruiz-Miranda, C.R., Molur, S., Koldewey, H. i Kleiman, D.G. (2009). The risks of assisted colonization. *Conservation Biology*, 23(4): 788-789.
- Sekercioglu, C.H., Schneider, S.H., Fay, J.P. i Loarie, S.R. (2008). Climate Change, Elevational Range Shifts, and Bird Extinctions. *Conservation Biology*, 22(1): 140-150.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. i Miller, H.L. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Stattersfield, A.J., Crosby, M.J., Long, A.J. i Wege, D.C. (1998). *Endemic Bird Areas of the World: Priorities for Biodiversity Conservation*. BirdLife International, Conservation Series No. 7, Cambridge.
- Steyermark, J.A. (1986). Speciation and endemism in the flora of the Venezuelan tepuis. In: F. Vuilleumier, i M. Monasterio (eds.), *High Altitude Tropical Biogeography*, pp. 317-373. Oxford University Press, Nova York.
- Steyermark, J.A., Berry, P.E., Yatskievych, K. i Holst, B.K. (1995-2005). *Flora of the Venezuelan Guayana*. Missouri Botanical Gardens Press, St. Louis.
- Towill, L.E. (1985). Low temperature and freeze-/vacuum-drying preservation of pollen. In: K.K. Kartha (ed.), *Cryopreservation of plant cells and organs*, pp. 171-197. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Towill, L.E. i Walters, C. (2000). Cryopreservation of pollen. In: F. Engelmann i H. Tagako (eds.), *Cryopreservation of Tropical Plant Germplasm. Current Research Progress and Applications*, pp. 115-129. International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. i Zhai, P. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor i H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 235-336. Cambridge University Press, Cambridge i Nova York.
- Vareschi, V. (1992). Observaciones sobre la dinámica vegetal en el Macizo del Chimantá. In: O. Huber (ed.), *El Macizo del Chimantá, Escudo de Guayana, Venezuela: Un Ensayo Ecológico Tepuyano*, pp. 179-188. Oscar Todtmann, Caracas.
- Volk G.M. i Walters C. (2003). Preservation of genetic resources in the National Plant Germplasm Clonal Collections. *Plant Breeding Reviews*, 23: 291-344.
- Walters, C., Wheeler, L. i Stanwood, P.C. (2004). Longevity of cryogenically stored seeds. *Cryobiology*, 48(3): 229-244.
- Wilson, R., Gutiérrez, D., Martínez, D., Agudo, R. i Montserrat, J. (2005). Change to elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters*, 8(11): 1138-1146.
- Witt S. (1985). *Biotechnology and Genetic Diversity*. California Agricultural Lands Project, San Francisco.
- Yamaguchi, E. i Ishikawa, M. (2000). Cryopreservation of maize (*Zea mays* L.) pollen. In: F. Engelmann i H. Tagako (eds.), *Cryopreservation of Tropical Plant Germplasm. Current Research Progress and Applications*, pp. 369-370. International Plant Genetic Resources Institute, Roma.

