



Abordări privind conservarea resurselor genetice forestiere

în Europa în contextul
schimbărilor climatice



Colin T. Kelleher, Sven M.G. de Vries,

Virgilijus Baliuckas, Michele Bozzano, Josef Frydl,
Pablo Gonzalez Goicoechea, Mladen Ivankovic, Gaye
Kandemir, Jarkko Koskela, Czesław Kozioł, Mirko
Liesebach, Andreas Rudow, Lorenzo Vietto and Peter
Zhelev Stoyanov

Prezenta publicație este tradusă pe baza materialului EUFORGEN “Approaches to the conservation of forest genetic resources in Europe in the context of climate change”, cu acordul Programului EUFORGEN.

Traducerea este realizată de un grup de specialiști din cadrul Centrului de Genetică și Seminologie Forestieră (CGSF) al Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice (ICAS).

Bioversity International este o organizație globală de cercetare-dezvoltare. Avem o viziune - că biodiversitatea agricolă hrănește oamenii și susține planeta. Oferim dovezi științifice, practici de gestionare și opțiuni de politică pentru utilizarea și protejarea biodiversității agricole și a arborilor pentru a atinge o siguranță globală și nutrițională durabilă la nivel mondial. Colaborăm cu parteneri din țările cu venituri reduse, din diferite regiuni, în care biodiversitatea agricolă și a arborilor poate contribui la îmbunătățirea nutriției, a rezistenței, a productivității și a adaptării la schimbările climatice. Bioversity International este membru al Consorțiului CGIAR - un parteneriat global de cercetare pentru un viitor sigur pentru produsele alimentare.

Programul european de resurse genetice forestiere (EUFORGEN) este un instrument de cooperare internațională care promovează conservarea și utilizarea adecvată a resurselor genetice forestiere în Europa. A fost înființată în 1994 pentru implementarea Rezoluției 2 de la Strasbourg adoptată de prima Conferință ministerială a procesului FOREST EUROPE, care a avut loc în Franța în 1990. EUFORGEN contribuie, de asemenea, la implementarea altor angajamente ale FOREST EUROPE privind resursele genetice forestiere și deciziile relevante ale Convenției privind Diversitatea biologică (CBD). În plus, EUFORGEN contribuie la punerea în aplicare a priorităților strategice la nivel regional ale Planului global de acțiune pentru conservarea, utilizarea durabilă și dezvoltarea resurselor genetice forestiere (GPA-FGR), adoptată de Conferința FAO în 2013. Programul reunește experți din țările membre pentru schimbul de informații și experiență, analiza politicilor și practicilor relevante, dezvoltare strategiilor, instrumentelor și metodelor bazate pe știință, pentru o mai bună gestionare a resurselor genetice forestiere. În plus, EUFORGEN furnizează, după caz, contribuții la evaluările europene și globale și servește drept platformă pentru dezvoltarea și punerea în aplicare a proiectelor. EUFORGEN este finanțat de țările membre, iar activitățile sale se desfășoară în principal prin intermediul grupurilor de lucru și al atelierelor de lucru. Comitetul de coordonare al EUFORGEN este format din Coordonatori naționali desemnați de statele membre. Secretariatul EUFORGEN este găzduit de Bioversity International. Informații suplimentare despre EUFORGEN pot fi găsite la adresa www.euforgen.org.

Desemnările geografice utilizate și prezentarea materialelor în această publicație nu implică exprimarea oricărei opinii din partea Bioversity sau a CGIAR privind statutul juridic al oricărei țări, teritorii, orașe, zone sau a autorităților sale sau privind delimitarea frontierelor, sau a granițelor sale. În mod similar, opiniile exprimate sunt cele ale autorilor și nu reflectă neapărat opiniile acestor organizații.

Menționarea unui nume de proprietate nu reprezintă aprobarea produsului și este indicat doar pentru informare.

Referințe: Kelleher, C. T., de Vries, S.M.G., Baliuckas, V., Bozzano, M., Frydl, J., Gonzalez Goicoechea, P., Ivankovic, M., Kandemir, G., Koskela, J., Kozioł, C., Liesebach, M., Rudow, A., Vietto, L., and Zhelev Stoyanov P. 2015. Implicațiile politicilor globale, europene și naționale pentru conservarea și utilizarea resurselor genetice forestiere în Europa. Programul european de resurse genetice forestiere (EUFORGEN), Bioversity International, Roma, Italia. Xiv+46 p.

Aspect: Ewa Hermanowicz

Fotografii de copertă: Michele Bozzano

ISBN 978-92-9255-032-5 Bioversity International

Via dei Tre Denari, 472 / a

00057 Maccarese

Roma, Italia

© Bioversity International 2015

AUTORI

Colin T. Kelleher

National Botanic Gardens, Dublin
Ireland

Sven M.G. de Vries

Centre for Genetic Resources,
Wageningen University and Research
Centre, Wageningen
the Netherlands

Virgilijus Baliuckas

Institute of Forestry, Lithuanian Research
Centre for Agriculture, Girionys
Lithuania

Michele Bozzano

Bioversity International, Rome
Italy

Josef Frýdl

Forestry and Game Management Research
Institute, Jiloviště
Czech Republic

Pablo Gonzalez Goicoechea

NEIKER-Tecnalia, Vitoria-Gasteiz
Spain

Mladen Ivankovic

Croatian Forest Research Institute,
Jastrebarsko
Croatia

Gaye Kandemir

Ministry of Forest and Water Affairs, Ankara
Turkey

Jarkko Koskela

Bioversity International, Rome
Italy

Czesław Koziol

Kostrzyca Forest Gene Bank, Miłkow
Poland

Mirko Liesebach

Thunen Institute of Forest Genetics,
Grosshansdorf
Germany

Andreas Rudow

Institute of Terrestrial Ecosystems,
ETH Zurich
Switzerland

Lorenzo Vietto

Council for Agricultural Research and
Economics, Research Unit for Intensive
Wood Production (CREA-PLF)
Casale Monferrato
Italy

Peter Zhelev Stoyanov

University of Forestry, Sofia
Bulgaria

PREFAȚĂ

În ultimele două decenii, impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor și rolul pădurilor în atenuarea schimbărilor climatice au fost intens dezbătute. La nivel global, despădurirea a contribuit semnificativ la schimbările climatice prin eliberarea dioxidului de carbon în atmosferă și prin reducerea producției de oxigen. Defrișările continuă în multe părți ale lumii și au fost dezvoltate o serie de inițiative internaționale pentru promovarea și implementarea gestionării durabile a pădurilor, în special în țările în curs de dezvoltare. În Europa, pădurile au crescut în ultimii 50 de ani, atât în ceea ce privește suprafața, cât și creșterile anuale ale acestora. Pădurile europene au acționat astfel ca un depozit de carbon, deoarece acestea au fost refăcute în urma defrișărilor și supraexploatații din ultimele secole.

În ultimii ani, factorii de decizie europeni au discutat diverse opțiuni de adaptare și atenuare a schimbărilor climatice și au elaborat diverse politici pentru a spori rolul pădurilor și al sectorului forestier în atenuarea efectelor schimbărilor climatice. Cele mai multe țări au propus aspecte legate de schimbările climatice în programele naționale de silvicultură și în planurile naționale de acțiune pentru conservarea biodiversității. Mai multe țări au dezvoltat, de asemenea, strategii naționale inter-sectoriale, de adaptare la schimbările climatice. Din păcate, aceste măsuri au neglijat în mare parte rolul resurselor genetice forestiere în adaptarea pădurilor la schimbările climatice. Mai mult, deși schimbările climatice sunt, de asemenea, considerate o amenințare pentru conservarea biodiversității, majoritatea eforturilor de conservare s-au axat pe diversitatea speciilor și a habitatelor și s-a acordat mai puțină atenție diversității genetice ca și bază fundamentală a diversității biologice.

În cadrul Programului European privind resursele genetice forestiere (EUFORGEN), acțiunea schimbărilor climatice asupra conservării și utilizării resurselor genetice forestiere, a fost discutată tot mai mult în ultimii ani. EUFORGEN a fost înființat în 1994 pentru a coordona colaborarea pan-europeană privind resursele genetice forestiere, ca parte a procesului FOREST EUROPE (anterior Conferința ministerială privind protecția pădurilor în Europa). Pe parcursul fazei a IV-a (2010-2014), EUFORGEN a avut trei obiective: 1) să promoveze utilizarea adecvată a resurselor genetice forestiere, ca parte a managementului durabil al pădurilor, pentru a facilita adaptarea și gestionarea pădurilor la schimbările climatice; 2) să dezvolte și să promoveze strategii pan-europene de conservare genetică și să îmbunătățească liniile directe pentru gestionarea unităților de conservare genetică și a zonelor protejate; și 3) să colecteze, să mențină și să difuzeze informații fiabile privind resursele genetice forestiere în Europa. EUFORGEN a reunit oameni de știință, manageri și factori de decizie politică pentru a discuta diverse probleme legate de resursele genetice forestiere și pentru a dezvolta abordări pan-europene pentru o mai bună gestionare a acestor resurse.

Prezentul raport prezintă concluziile și recomandările grupului de lucru EUFORGEN privind schimbările climatice și conservarea resurselor genetice forestiere. Raportul prezintă stadiul actual al cunoașterii cu privire la implicațiile schimbărilor climatice pentru conservarea resurselor genetice forestiere și oferă recomandări pentru acțiunile ulterioare. Grupul de lucru s-a întrunit de două ori; prima întâlnire a fost găzduită de Bioversity International la Maccarese, Italia, în perioada 18-20 iunie 2013, iar cea de-a doua de către Centrul pentru Resurse Genetice din Wageningen, Olanda în perioada 4-6 februarie 2014. Grupul de lucru a prezentat Comitetului de coordonare EUFORGEN o actualizare în cadrul celei de-a noua reuniuni care a avut loc la Tallinn, Estonia, în perioada 3-5 decembrie 2013. Proiectul de raport a fost prezentat Comitetului director EUFORGEN în vederea reexaminării în cadrul celei de-a 10-a reuniuni, care a avut loc la Edinburgh, Marea Britanie în perioada 16-18 iunie 2014. Comentariile Comitetului director au fost abordate în raportul final.

CUPRINS

AUTORI.....	4
PREFAȚĂ	5
ABREVIERI UTILIZATE ÎN TEXT	10
REZUMAT.....	12
Schimbările climatice și diversitatea genetică forestieră	12
Evaluarea și gestionarea amenințărilor	13
Abordări de conservare	13
Cercetare.....	14
INTRODUCERE.....	16
STAREA ACTUALĂ A CUNOAȘTINȚELOR	20
Predicții privind schimbările climatice	20
Consecințele generale ale schimbărilor climatice asupra pădurilor	21
Schimbarea arealului	21
Compoziția speciilor.....	22
Competiția, bolile și dăunătorii	22
Adaptarea și schimbările în performanța realizată de arbori	23
Consecințele schimbărilor climatice pentru resursele genetice forestiere.....	23
Specii și populații de specii amenințate.....	25
Evaluarea amenințărilor.....	25
Potențialul adaptativ	25
Distribuția populațiilor	27
Estimarea tipurilor specifice de amenințări	27
Indicatorii pentru amenințările generale.....	28
Indicatori pentru amenințarea declanșată de schimbările climatice	29
Privire de ansamblu asupra speciilor și a populațiilor amenințate	31
Cunoașterea măsurilor și a strategiilor existente	31
În fond.....	31
Încadrarea RGF în politicile naționale și cele ale UE.....	32
Strategii.....	32
Abordări <i>in situ</i>	32
Managementul <i>in situ</i>	33
Abordări <i>ex situ</i>	35
Implicații pentru conservare	37
RECOMANDĂRI PENTRU MANAGEMENTUL CONSERVĂRII UNITĂȚILOR GENETICE ȘI ÎNFIINȚAREA UNITĂȚILOR SUPLIMENTARE	40
Gestionarea unităților existente de conservare genetică.....	40
Stabilirea unor unități suplimentare de conservare genetică	42
Selectarea unităților de conservare genetică pentru vulnerabilitatea la schimbările climatice...42	
Selectarea unităților suplimentare pentru a reprezenta populațiile marginale de arbori.....43	
Adăugarea unităților cu populații de arbori nou create sau migrate	43
Permiterea adăugării de unități suplimentare în rețeaua de bază a unităților de conservare	43
Unități de bază față de unități suplimentare.....	43
Monitorizarea unităților suplimentare.....	44
Explorarea abordărilor regionale privind conservarea RGF	44
Aspecte taxonomice	44

Specii care sunt favorizate de schimbările climatice	44
Revizuirea progreselor științifice	45
RECOMANDĂRI PENTRU ABORDĂRI COMPLEMENTARE <i>EX SITU</i>	47
Prioritizarea speciilor de arbori și stabilirea populațiilor <i>ex situ</i>	47
Prioritizarea.....	47
Stabilirea populațiilor <i>ex situ</i>	48
Conservarea dinamică <i>ex situ</i>	49
Măsuri de conservare <i>ex situ</i>	50
Monitorizare adecvată.....	50
RECOMANDĂRI PENTRU CERCETARE	51
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI GENERALE	53
Concluzii.....	53
Recomandări.....	53
BIBLIOGRAFIE	55
Anexa 1	62

ABREVIERI UTILIZATE ÎN TEXT

CO ₂	carbon dioxide / dioxid de carbon
EU	European Union / Uniunea europeană
EUFGIS	European Information System on Forest Genetic Resources / Sistemul european de informații privind resursele genetice forestiere
EUFORGEN	European Forest Genetic Resources Programme / Programul European de resurse genetice forestiere
FGR	forest genetic resources / resurse genetice forestiere
FAO	FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Comisia interguvernamentală pentru schimbările climatice
IUFRO	International Union of Forest Research Organizations / Uniunea Internațională a Organizațiilor de Cercetări în Domeniul silvic
IUCN	International Union for Conservation of Nature / Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii
UN	United Nations / Națiunile Unite
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change / Convenția-cadru a Națiunilor Unite privind schimbările climatice

REZUMAT

În ultimele decenii, țările europene au făcut pași importanți în conservarea resurselor genetice ale arborilor forestieri. Cu toate acestea, rareori au luat în considerare acțiunile schimbărilor climatice asupra conservării resurselor genetice forestiere. Schimbările climatice reprezintă provocări unice de conservare care necesită răspunsuri specifice. Din aceste motive, Comitetul de coordonare al EUFORGEN a înființat un grup de lucru privind schimbările climatice și conservarea resurselor genetice forestiere. Acest raport prezintă concluziile grupului de lucru.

În Europa, în ultimii 50 de ani pădurile s-au extins în ceea ce privește suprafața și stocul de lemn și, ulterior, au acționat ca un depozit de carbon în timp ce se refac din perioadele anterioare ale defrișărilor. Strategiile naționale de adaptare la schimbările climatice și alte politici, au fost formulate în multe țări europene pentru a valorifica potențialul pădurilor și al sectorului forestier, pentru a diminua schimbările climatice. Cu toate acestea, efectele schimbărilor climatice asupra pădurilor, în special asupra diversității lor genetice, nu au fost luate în considerare în mod corespunzător în aceste politici.

Grupul de lucru a făcut câteva recomandări practice. Acestea se axează pe: 1) stabilirea unor unități suplimentare de conservare genetică în mod specific pentru a răspunde la schimbările climatice; 2) intensificarea cooperării între țări și extinderea colaborării pan-europene privind conservarea resurselor genetice forestiere; 3) necesitatea continuării și extinderii monitorizării și partajării, inclusiv dezvoltarea instrumentelor de decizie și a listelor roșii și 4) cercetarea în continuare a aspectelor legate de migrația asistată și a populațiilor de arbori marginali și periferici.

Schimbările climatice și diversitatea genetică forestieră

Modelele climatice globale prevăd o creștere a temperaturii medii pentru Europa, iar iarna devine mai caldă în nord, iar în sud verile devin mai calde. Modelele prevăd, de asemenea creșteri ale precipitațiilor de iarnă în nord și a scăderi acestora în sud, precum și scăderea precipitațiilor vara din Europa Centrală și de Vest. Europa de Sud și Europa de Vest sunt susceptibile de a se confrunta cu condiții mai calde și mai uscate, cu secetă ce începe mai devreme și este mai îndelungată. Impactul schimbărilor climatice va fi cel mai sever în Peninsula Iberică de Sud, în Alpi, pe coasta estică a Mării Adriatice și în sudul Greciei. Pe lângă aceste modificări, modelele prevăd, de asemenea, că fenomenele extreme vor avea loc mai des. Cu toate că există incertitudini, se poate concluziona că în viitorul apropiat vor apărea schimbări în arealul speciilor individuale de arbori și că va fi afectată compoziția speciilor și dinamica în dezvoltarea pădurilor.

Din punctul de vedere al conservării, cele mai importante domenii pe care va trebui să ne concentrăm va fi marginea arealului speciei. În timp ce populațiile migrează în zonele pe care schimbările climatice le-au făcut mai potrivite, este probabil ca limitele arealelor, să sufere o

îngustare genetică, deoarece câțiva indivizi fondatori, ce reprezintă doar un subset al diversității genetice totale, vor fi pionieri în noile areale. În același timp, populațiile de la marginea posterioară sunt probabil supuse fragmentării și reducerii numărului de indivizi, cu pierderea ulterioară a diversității genetice.

Evaluarea și gestionarea amenințărilor

Nu se știe exact cum vor răspunde la schimbările climatice speciile și populațiile de arbori. Cu toate acestea, este important să se încerce evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra populațiilor de arbori utilizând o combinație de factori în sine, cum ar fi structura populației, capacitatea de regenerare și capacitatea de dispersie și factorii în sine, inclusiv amenințările biotice cum ar fi dăunătorii, agenții patogeni și competiția speciilor și amenințările abiotice, cum ar fi incendiile sau schimbările în utilizarea terenurilor. Grupul de lucru a luat în considerare un spectru larg de potențiale amenințări și a dezvoltat un instrument eșalonat de decizii preliminare pentru a ajuta la identificarea și gestionarea acelor populații, care au cea mai mare nevoie de conservare. Deciziile eșalonate, anexate la raport sunt o dovadă a conceptului și va necesita o dezvoltare ulterioară. Un astfel de instrument va fi de ajutor în elaborarea unei liste roșii de specii de arbori amenințați în Europa, care ar trebui să se concentreze mai degrabă pe populații decât pe specii și care este urgent necesară pentru viitoarea conservare.

Grupul de lucru a menționat că multe specii de arbori europeni, în special acele amenințate în sudul Europei, sunt prezente și în Africa de Nord și în insulele Macaronezia. Aceste populații sunt, probabil, chiar mai susceptibile de a fi afectate în mod negativ de schimbările climatice, fără prea puține șanse de colonizare din partea de sud. Din acest motiv, grupul de lucru recomandă ca, în scopul conservării resurselor genetice forestiere, colaborarea pan-europeană să includă aceste domenii. Trebuie inițiată colaborarea pentru a include țările care conțin populații de specii relevante din afara Europei. O acoperire geografică mai mare a colaborării regionale privind resursele genetice forestiere ar fi, de asemenea, utilă pentru elaborarea unei liste roșii a populațiilor de arbori amenințați.

Abordări de conservare

Multe țări europene au în prezent strategii de conservare a resurselor genetice forestiere, și au depus eforturi pentru a extinde și consolida aceste strategii. Strategiile actuale, de exemplu rețeaua pan-europeană condusă de EUFORGEN, nu include întotdeauna populațiile care sunt amenințate din cauza schimbărilor climatice. Raportul oferă sugestii privind modalitatea de identificare a acestor unități și recomandă adăugarea acestor unități suplimentare în baza de date a Sistemului european de informații privind resursele genetice forestiere (EUFGIS), cu un câmp

suplimentar de identificare, astfel încât informațiile de la acestea să poată fi luate în considerare, alături de toate celelalte unități de conservare, în luarea deciziilor de management strategic. Există, de asemenea, posibilitatea migrației asistate, în special pentru speciile care se confruntă cu cea mai intensă schimbare climatică. Deși vor exista în mod evident probleme de rezolvat, migrația asistată rămâne o opțiune importantă ce trebuie luată în considerare. Chiar și cu o atenție sporită la conservarea *in situ*, va exista totuși și necesitatea conservării *ex situ*. În diferite cazuri, colecțiile de arbori vii, de semințe, de gameți și de țesuturi vegetale, pot fi luate în considerare, iar prioritățile sunt atribuite în funcție de un set de criterii comune. Ca și în cazul unităților de conservare *in situ*, unitățile *ex situ* ar trebui monitorizate, incluse și identificate în mod specific în baza de date EUFGIS.

Cercetare

Raportul se referă în primul rând la aspectele legate de management, însă, în examinarea acestor întrebări, au apărut lacune în cunoașterea științifică. Se știe puțin despre efectele concrete ale schimbărilor climatice asupra diversității genetice a populațiilor de arbori. În plus, există o lipsă de cunoștințe referitoare la migrația asistată și modul în care aceasta ar putea afecta compoziția genetică a unei specii și compoziția speciilor unui ecosistem. Populațiile de arbori marginali și periferici sunt de asemenea slab studiate. Aceste populații trebuie identificate, caracterizate și studiate. Mai multe rezultate ale cercetării asupra acestor subiecte ar contribui la îmbunătățirea conservării în contextul schimbărilor climatice și la influențarea elaborării politicilor viitoare.

INTRODUCERE

Schimbările climatice și consecințele acestora asupra pământului și a societăților umane au fost analizate și discutate la nivel internațional, regional și național de peste 20 de ani. În 1992, Samitul de la Rio a adoptat Convenția-cadru a Organizației Națiunilor Unite privind schimbările climatice (UNFCCC), care a fost concepută pentru a stabili emisiile de gaze cu efect de seră la un nivel care să prevină schimbările periculoase ale sistemului climatic global. UNFCCC a intrat în vigoare în 1994 și un număr de 195 de țări l-au ratificat, deși emisiile de gaze cu efect de seră continuă să crească. Potrivit Comitetului interguvernamental privind schimbările climatice (IPCC), temperatura medie globală a suprafeței (temperatura combinată a solului și oceanului) a crescut cu aproape 1° C în perioada 1901 - 2012 (IPCC 2013). Raportul recent al IPCC menționează, de asemenea, că este foarte probabil ca temperatura să continue să crească în cursul secolului XXI în diferite părți ale lumii, inclusiv în Europa. Cele mai recente constatări indică faptul că temperatura din timpul verii (iunie-august) va crește de la 3° C până la 4° C în majoritatea părților din Europa din 2081 până în 2100 și chiar de la 4° C până la 5° C în anumite regiuni mediteraneene (IPCC 2013). Acest lucru va modifica considerabil condițiile climatice, la care se adaptează în prezent pădurile europene. Impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor și biodiversității a fost analizat prin numeroase studii de modelare. Se estimează că schimbările climatice preconizate vor modifica și vor reduce arealul de distribuție a principalelor specii de arbori comerciali din Europa (de exemplu, Hanewinkel et al., 2012). Cu toate acestea, majoritatea abordărilor de modelare au considerat speciile ca și entități statice și independente și au trecut cu vederea importanța diversității genetice și a plasticității fenotipice în adaptarea lor la schimbările climatice (de exemplu, Bellard et al., 2012). În plus, studiile privind impactul schimbărilor climatice asupra biodiversității s-au axat în mare măsură pe răspunsurile speciilor și ecosistemelor și au neglijat rolul diversității genetice (Bellard et al., 2012). Includerea diversității genetice și a plasticității fenotipice în modelele de distribuție ale speciilor, a arătat că scăderile și / sau modificările prevăzute în intervalele de distribuție ale speciilor de arbori, datorate schimbărilor climatice, sunt probabil mai mici decât s-au estimat anterior (Benito Garzón et al., 2011).

Schimbările climatice vor afecta rețelele sau sistemele de conservare existente și vor influența modul în care sunt proiectate noile sisteme. Sistemele de conservare ar trebui să se bazeze pe o abordare dinamică, la scară largă, pentru a se asigura că speciile țintă sunt capabile să se adapteze la schimbările climatice (Hannah 2010). În Europa, o rețea pan-europeană de unități de conservare genetică a arborilor forestieri este un exemplu al unei astfel de abordări de conservare. În prezent, această rețea pan-europeană cuprinde 3 214 unități de conservare în 34 de țări. Documentarea acestei rețele și lansarea portalului EUFGIS în 2010, au fost rezultatul activității anterioare a EUFORGEN, desfășurată de mai mulți ani.

În 2006, EUFORGEN și Uniunea Internațională a Organizațiilor de Cercetare Forestieră (IUFRO), a organizat un atelier de lucru privind schimbările climatice și diversitatea genetică a pădurilor (vezi Koskela et al., 2007). Atelierul a menționat, că impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor, va fi diferit în diferite părți ale Europei, generând atât oportunități, cât și amenințări. Atelierul a subliniat, de asemenea, rolul cheie pe care îl joacă resursele genetice forestiere în menținerea rezistenței pădurilor împotriva amenințărilor și valorificarea oportunităților. Una dintre recomandările din cadrul atelierului a solicitat factorilor politici europeni și sectorului forestier recunoașterea importanței diversității genetice a pădurilor în atenuarea efectelor negative ale schimbărilor climatice asupra pădurilor europene, prin integrarea gestionării acestei diversități în programele naționale forestiere și alte politici, programe și strategii relevante (De exemplu, strategiile naționale de adaptare la schimbările climatice și planurile naționale de acțiune pentru conservarea biodiversității). În plus, atelierul a recomandat ca factorii de decizie să promoveze practicile de gestionare a pădurilor care mențin procesele evolutive ale arborilor forestieri și să promoveze regenerarea naturală a pădurilor, în special în zonele în care regenerarea naturală pe termen lung este asigurată în mod autonom, în ciuda schimbărilor climatice. În timpul fazei a III-a a EUFORGEN din (2005-2009), au continuat discuțiile cu privire la implicarea schimbărilor climatice asupra conservării resurselor genetice forestiere, în special asupra coniferelor, speciilor de foioase dispersate și a celor încadrate în arborete și necesitatea elaborării unor cerințe minime pentru unitățile de conservare genetică ale acestor grupe de specii de arbori. În plus, a fost discutat impactul schimbărilor climatice asupra conservării și utilizării resurselor genetice forestiere, în cadrul rețelei de administrare a pădurilor. Pe baza acestei lucrări, un grup de lucru EUFORGEN a elaborat o strategie pan-europeană de conservare genetică pentru arbori forestieri în perioada 2012-2013 (de Vries et al., 2015).

În 2012, Comitetul de coordonare al EUFORGEN a decis să înființeze un grup de lucru pentru a revizui în continuare metodele de conservare genetică (atât *in situ*, cât și *ex situ*) în contextul schimbărilor climatice. Grupul de lucru a fost însărcinat să elaboreze recomandări pentru gestionarea unităților de conservare și să propună măsuri complementare de conservare. Mai exact, Comitetul director a solicitat grupului de lucru:

- Revederea rezultatele relevante ale rețelei anterioare de gestionare a pădurilor;
- Revizuirea previziunilor privind schimbările climatice și consecințele acestora pentru conservarea RGF (de exemplu abundența, compoziția și distribuția speciilor forestiere și a populațiilor);
- Revederea constatărilor privind cele mai amenințate specii și populații de arbori;
- Elaborarea recomandărilor pentru gestionarea unităților de conservare genetică;
- Dezvoltarea unor abordări complementare *ex situ*;
- Prezentarea unei actualizări a acestora;

- Pregătirea unui proiect de raport.

În plus, Comitetul Coordonator a informat că grupul de lucru nu ar trebui să se concentreze doar pe gestionarea unor singure unități, ci și pe rețeaua pan-europeană de unități de conservare genetică. Grupului de lucru i s-a solicitat, de asemenea, să abordeze atât conservarea *in situ*, cât și *ex situ*, în contextul schimbărilor climatice și să analizeze nivelul de dublare al eforturilor necesare de conservare. De asemenea, grupului de lucru i s-a cerut analizeze ideea de a stabili unități de conservare în afara arealului actual de distribuție a speciilor de arbori. Următoarele capitole ale acestui raport prezintă în detaliu constatările și recomandările grupului de lucru.

STAREA ACTUALĂ A CUNOAȘTINȚELOR

Predicții privind schimbările climatice

Este bine documentat faptul că activitățile umane au afectat în mod semnificativ clima globală încă de la începutul industrializării, care a demarat în jurul anilor 1750. Cel de al cincilea raport de evaluare al Grupului interguvernamental privind schimbările climatice (IPCC 2013) a reiterat constatarea celui de al patrulea raport (IPCC 2007a), conform căruia concentrația dioxidului de carbon atmosferic (CO₂) a crescut de la 280 ppm în era preindustrială la 379 ppm în 2005. Cea mai mare rată de creștere a concentrației de CO₂ a fost detectată în perioada 1995-2005. Această creștere a depășit intervalul natural în ultimii 650.000 de ani (180-300 ppm) și este raportată a fi, în primul rând, un rezultat al arderii combustibililor fosili și a modificărilor în utilizarea terenurilor, cum ar fi creșterea urbanizării și despăduririle. A crescut, de asemenea, concentrația globală de metan de la 715 ppb la 1 774 ppb în 2005. Aceasta depășește din nou limitele naturale (320-790 ppb) și se consideră că acest lucru se datorează în primul rând dezvoltării agricole. Concentrațiile crescute de CO₂ și metan au dus la efectul de seră marcat și la încălzirea globală peste nivelul așteptat prin procese pur naturale. Aceste creșteri și impactul lor sunt folosite pentru a prognoza schimbările viitoare exprimate printr-o diversitate de indicatori climatici. Utilizând mai multe scenarii de emisii viitoare, IPCC (2007a) a prognozat creșteri maxime ale temperaturii de aproximativ 0,2°C pe decadă și un minim al acestor creșteri de 0,1°C pe decadă, în cadrul unui scenariu foarte optimist de menținere a emisiilor la nivelul anului 2000.

Modelele climatice globale utilizate în cadrul celui de-al patrulea raport al evaluării IPCC (2007a) au prognozat o creștere a temperaturii medii a aerului la suprafața solului pentru Europa, la mijlocul secolului al XXI-lea (2041-2070) (Roeckner et al., 2003; Marsland et al., 2003). Modelele au prevăzut că încălzirea în perioada de iarnă (decembrie-februarie) va fi mai mare în Europa de Nord-Est (peste 3°C), în timp ce în perioada de vară (iunie-august) cea mai mare creștere a temperaturilor aerului la suprafața solului poate fi așteptată în sudul Europei (de exemplu, în Peninsula Iberică), unde temperaturile ar putea crește cu până la 4°C în această perioadă (Brankovic et al., 2010).

Modificările anticipate date de modelarea precipitațiilor, arată că în perioada de iarnă în Europa, sunt de așteptat să crească în zone situate la nord de 45° latitudine nordică și să descrească în zonele situate la sud de 45° latitudine nordică. Pentru vară, aceleași modele prevăd o reducere a precipitațiilor în latitudinile temperate din Europa Centrală și de Vest. Condițiile mai calde și mai uscate pot provoca secetă prelungită și pot extinde sezonul cu risc crescut de incendiu, în special în țările mediteraneene, unde seceta va începe probabil mai devreme și va dura mai mult. Țările din Europa Centrală se vor aștepta probabil la același număr de zile calde ca și cele din Europa de Sud.

Cele mai afectate regiuni din Europa ar putea fi Peninsula Iberică din sud, Alpii, Coasta de Est a Adriaticii și Grecia de Sud (IPCC 2007a).

Efectele negative ale modificărilor preconizate ale temperaturii medii și ale precipitațiilor vor fi accentuate de creșterea frecvenței evenimentelor extreme. Viteza schimbărilor climatice este de așteptat să fie rapidă, urmând o rearanjare a distribuției globale actuale a condițiilor climatice în acest secol (Loarie et al., 2009). Schimbările climatice și alte schimbări globale vor influența considerabil ecosistemul forestier din Europa (IPCC 2007b).

Consecințele generale ale schimbărilor climatice asupra pădurilor

Este important de menționat că, în timp ce schimbările climatice se produc și se măsoară în termeni fizici și schimbări biotice, rămâne o mare incertitudine în ceea ce privește amploarea și eventualele sale efecte. Prognozele bazate pe date și tendințe actuale ne permit să speculăm asupra evenimentelor viitoare, dar prognozele, prin natura lor, conțin un element de incertitudine. Este dificil să se facă prognoze exacte, în special pentru fenomene meteorologice extreme, cum ar fi furtunile. Acestea fiind spuse, pe baza prognozelor pentru Europa, ne putem aștepta la schimbări continue în ceea ce privește arealul, compoziția speciilor și dinamica pădurilor (de exemplu, EC 2008).

În general, pădurile ocupă suprafețe mari și sunt populate de arbori cu durată lungă de viață. Astfel, schimbările climatice reprezintă un set special de provocări pentru biologia arborilor forestieri. În decursul vieții unui arbore individual, condițiile de temperatură ar putea deveni mai mari cu 3°C (bazate pe o durată de viață de 150 de ani la o estimare IPCC a unei creșteri a temperaturii globale de 0,2°C pe decadă). Cu toate acestea, arborii forestieri au, de asemenea, o capacitate de adaptare deosebită în comparație cu alte plante, cum ar fi plantele anuale, ceea ce le poate ajuta să facă față schimbărilor climatice. Arborii forestieri sunt cunoscuți prin faptul că demonstrează o plasticitate extinsă în răspunsul lor la schimbările climatice. Acest lucru a fost demonstrat prin schimbări în fenologie, cum ar fi înmugurirea, ca răspuns la modificările de temperatură (Menzel et al., 2006). Adaptările locale sunt, de asemenea, evidente în perioade relativ scurte (de exemplu, Jump et al., 2006, Savolainen și colab., 2011).

Schimbarea arealului

Este de așteptat ca zonele forestiere să se extindă în nord și nord-est, dar să se restrângă în sud (Kremer et al., 2012; Metzger et al., 2004, IPCC 2007b). Se presupune că schimbările în interiorul arealului bioclimatic să modifice distribuțiile speciilor (Kremer et al., 2012). Pierderea din sud și câștigul în nord sunt atât o provocare, cât și o oportunitate. Este probabil ca presiunile extreme asupra speciilor de arbori din sud și a populațiilor acestora să ducă la apariția adaptărilor arborilor, pentru a supraviețui. Având în vedere că speciile de arbori au cicluri de viață de lungă

durată, este puțin probabil extinderea arealelor acestora pe termen scurt (100 ani) (cu excepția cazurilor speciilor rare și a celor cu distribuții restrânse și cu habitate specializate). Cu toate acestea, vor exista schimbări în arealele speciilor, iar populațiile de arbori vor trebui să se adapteze la noile condiții fizice. Extinderea arealelor în nord ar trebui să aibă loc prin răspândirea adaptărilor existente (de exemplu, speciile de arbori temperați se deplasează în tundră pe măsură ce clima se încălzește). Cu toate acestea, populațiile de arbori din sud vor trebui să se adapteze la noile condiții, cum ar fi creșterea fără precedent a temperaturilor și seceta. În plus față de schimbările extreme a arealului, se așteaptă și schimbări în altitudine. Modelele presupun că speciile alpine sunt extrem de sensibile la schimbările climatice (Schröter et al., 2005). O preocupare deosebită va fi de asemenea fragmentarea arealului speciilor în populații disociate, iar acest lucru se preconizează că se va produce mai mult în populațiile sudice și marginale. Populațiile fragmentate vor apărea, de asemenea, împreună cu o extindere spre nord a arealului populațiilor. Cu toate acestea, recolonizarea prin populații fragmentate a reprezentat o caracteristică a colonizării postglaciare a multor specii de arbori (de exemplu, Lowe et al., 2006).

Compoziția speciilor

După cum s-a arătat deja, la schimbarea arealului speciilor, specii noi de arbori, vor da naștere unor compoziții și comunități de specii noi, la latitudini mai nordice. Seceta din regiunea mediteraneeană poate duce la schimbări în abundența și distribuția unui număr de specii de arbori în această regiune, cum ar fi stejarul de plută (*Quercus suber*) și pinul alep (*Pinus halepensis*) (Schröter et al., 2005; Ruiz -Labourdet et al., 2013). În plus față de schimbările în compoziția speciilor prin înlocuire, pot exista noi oportunități de hibridare a speciilor anterior izolate. Hibridarea este comună la speciile foioase de stejar, cu modificări în intervale, se vor produce noi interacțiuni de specii. Acest lucru poate avea un efect economic dacă, spre exemplu, speciile limitate la Marea Mediterană (cum ar fi *Quercus faginea* și *Q. fraineto*) se deplasează spre nord și hibridează cu stejarul temperat extrem de valoros (*Q. petraea* și *Q. robur*) (Valbuena-Carabaña et al., 2005; Kremer, 2010).

Competiția, bolile și dăunătorii

Pe lângă condițiile abiotice, noi provocări biotice, cum ar fi concurența altor specii și expunerea la boli, vor avea un impact negativ asupra supraviețuirii populațiilor. Se sugerează că pădurile de coniferele native pot fi înlocuite cu arbori de foioase în Europa de Vest și Centrală (Maracchi et al., 2005; Koca et al., 2006). Odată cu deplasarea speciilor, va exista o expunere la noi boli și agenți patogeni. Ca o consecință a schimbărilor climatice, multe specii de insecte fitofage din pădurile temperate nordice, inclusiv unii dintre cei mai importanți dăunători ai pădurii, au fost de asemenea observați în încercarea de a-și extinde arealul spre nord și altitudinal, iar prin activitatea

lor ar putea afecta ecosistemele forestiere (Battisti 2008). Mai mult, schimbarea condițiilor climatice poate influența, de asemenea, răspândirea agenților patogeni infecțioși, cum ar fi ciupercile și bacteriile, și pot adăuga stres arborilor forestieri, făcându-i mai sensibili (Kliejunas, 2011).

Adaptarea și schimbările în performanța realizată de arbori

Odată cu reducerea și extinderea arealului speciilor, va exista o reducere ulterioară și o potențială extindere a populațiilor de arbori adaptați local. Adaptabilitatea populațiilor poate afecta productivitatea acestora. Productivitatea pădurilor din regiunea mediteraneeană este strâns legată de modelele de precipitații, în special seceta poate scădea productivitatea (Cotrufo et al., 2011). Cu toate acestea, spre deosebire de efectele populațiilor din sud, productivitatea primară și biomasa vor crește probabil în rândul populațiilor din nord datorită sezoanelor de vegetație mai lungi (IPCC, 2007). O revizuire a efectelor schimbărilor climatice asupra productivității primare în păduri la nivel global, arată o creștere netă a productivității primare de la mijlocul secolului XX (Boisvenue și Running 2006). Impactul asupra producției de lemn și a calității lemnului rămâne incert, deși experimentele au arătat modificări ale compoziției chimice a lemnului (creșterea amidonului față de celuloză) și morfologie (inele anuale mai mari) la mestecenii tineri datorită creșterii emisiilor de CO² (Kostiainen et al., 2006). Modificările în creșterea numărului de arbori care s-au datorat efectelor schimbărilor climatice din ultimii 50-100 de ani, au fost observate în ultimele decenii la *Populus*, *Quercus*, *Pinus*, *Tsuga* și *Nyssa* în estul Statelor Unite (Johnson și Abrams, 2009).

Consecințele schimbărilor climatice pentru resursele genetice forestiere

Resursele genetice forestiere sunt fundamentale pentru diversitatea și adaptarea arborilor și a populațiilor acestora. RGF sunt esențiale pentru menținerea capacității de adaptare, ca răspuns la schimbările climatice. Consecințele schimbărilor climatice asupra RGF vor depinde în mare măsură de mărimea și distribuția populațiilor actuale de arbori și de biologia speciilor. O specie comună larg răspândită este mai puțin susceptibilă de a fi la fel de supusă la impactul schimbărilor climatice în comparație cu o specie, care are o distribuție îngustă și populații mici. Se așteaptă ca aceste consecințele globale, să facă modificări ale frecvențelor alelelor și compoziției alelelor ca urmare a modificării dinamicii pădurilor. Modificările sunt, de asemenea, prevăzute la marginea arealelor de distribuție și în interiorul principalelor areale de distribuție.

În ciuda consecințelor incerte ale schimbărilor climatice asupra RGF, un rezultat probabil este reducerea generală a variației cel puțin pe termen scurt. Variația nouă prin intermediul mutației spontane, apare continuu într-o populație, care acționează prin selecție naturală sau artificială pentru a genera o descendență mai bine adaptată. Cu toate acestea, studiile efectuate până în prezent arată că rata potențială de adaptare este mult mai lentă decât ritmul în care clima se schimbă în prezent

(Aitken et al., 2008) .Există o perspectivă de reducere imediată a resurselor noastre genetice prin prisma prognozelor actuale privind schimbările climatice.

Deși există un grad de plasticitate la arbori, selecția naturală a trăsăturilor favorabile va apărea pe tot parcursul arealului, dar este probabil să fie mai intensă la marginea lui. Acest lucru ar trebui să fie evident din perspectiva schimbărilor climatice, de exemplu, în frecvențele alelelor genelor legate de fenologie, din cadrul unui locus. În prezent, datele sunt limitate la efectele schimbărilor climatice asupra selecției naturale (Donnelly et al., 2012). O schimbare în frecvențele alelelor corelate cu un gradient de altitudine al temperaturii a fost demonstrat pentru *Fagus sylvatica* (Jump et al., 2006), iar un număr tot mai mare de studii investighează modificările datorate schimbărilor climatice. Răspunsurile vor fi foarte diferite în multe părți ale arealului – la margine (nord / sud / marginal) și în arealul de bază.

În nord, un factor important este diversitatea genetică, care este creată din această expansiune. Studiile privind efectele genetice ale perioadei glaciare au arătat o varietate de modele și indică lipsa unei abordări "o mărime se potrivește tuturor" (de exemplu, Lascoux et al., 2004). În timp ce modelele actuale ale structurii genetice sunt rezultatul dispersiei după ultimul maxim glacial și în special a dispersiei pe un teritoriu adecvat, care este neocupat (Hewitt 2000), ar trebui să se aștepte, un model considerabil diferit, atunci când speciile variază în habitate ocupate. La marginea de nord a arealului, efectele fondatoare ale evenimentelor stohastice de dispersare, care au ca rezultat populații izolate, sunt de așteptat să influențeze RGF (Hampe și Petit, 2005). În timp ce mult mai mult din peisaj este ocupat în prezent de habitate diferite, este probabil ca modelul să continue sub forma unui mozaic fragmentat comparativ cu omogenizarea și amestecul care a avut loc după ultima glaciație. Populațiile izolate pot avea, ca rezultat, o adaptare rapidă la condițiile locale, cu o schimbare ulterioară a frecvențelor alelelor genelor selectate. Un alt element care influențează și, în unele cazuri, împiedică adaptarea în populațiile nordice este prevalența polenului din populațiile din sud care este dispersat spre nord de vânturile predominante. Acest lucru poate afecta starea de sănătate a populațiilor, deoarece polenul sudic aduce gene adaptate unor condiții diferite, ceea ce poate să nu se potrivească cu mediul din nord (Savolainen et al., 2007). Totuși, pe termen lung acest lucru poate fi avantajos în adaptarea la un climat de încălzire. În schimb, o specie cu dispersie limitată a semințelor va avea o probabilitate mai mare de adaptare locală (Kremer et al., 2012).

La marginea sudică, se anticipează dispariția și fragmentarea populațiilor cu consecințele ulterioare ale deviației genetice și a rezervelor de gene restricționate. Speciile sudice se vor confrunta cu o fragmentare crescândă a populației și o reducere a numărului populației. Populațiile din sud se vor confrunta cu condiții mai calde fără precedent. Se presupune că aceste populații, nu au potențialul de adaptare necesar pentru a supraviețui la aceste schimbări (Aitken et al., 2008).

Unele dintre populațiile cele mai sudice sunt probabil dispărute, ceea ce duce la o reducere generală a RGF.

În centrul distribuției, rezultatul cel mai probabil va fi o schimbare a compoziției speciilor prin schimbări în dinamica pădurilor, cu o posibilă reducere a diversității genetice.

Selecția naturală va fi, desigur, parte dintr-un proces dinamic în care climatul actual în interiorul arealului speciilor este modificat în nord și sud, dar aceasta este o componentă mai lungă a adaptării și chiar a formării speciilor noi.

Specii și populații de specii amenințate

Amenințarea are loc prin trei procese principale: 1) eliminarea directă a indivizilor (ex. supraexploatare, pășunat, agenți patogeni, incendiu); 2) eliminarea habitatului (de exemplu distrugerea, poluarea, schimbările de mediu), 3) sărăcirea genetică (de exemplu prin fragmentare, derivație genetică) (de exemplu, Potter și Crane, 2010). Schimbările climatice pot influența toate cele trei procese.

Evaluarea amenințărilor

Așa cum previziunile privind schimbările climatice sunt nesigure (vezi capitolele anterioare), există, de asemenea, o mare incertitudine în ceea ce privește răspunsul biologic al speciilor de arbori și a populațiilor acestora și impactul rezultat asupra RGF. Pentru a evalua o amenințare, trebuie luate în considerare o serie de aspecte. IUCN utilizează demografia populației și arealul populației pentru a evalua statutul de amenințare globală al unei specii și acest model este, de asemenea, un model util de aplicat pe plan regional (IUCN, 2012). Potter and Crane (2010) au propus un sistem de evaluare a riscurilor care include factori proprii și externi. Factorii proprii sunt variabilele demografice și ecologice specifice speciilor (de exemplu structura și densitatea populației, fragmentarea, capacitatea regenerativă, capacitatea de dispersare, afinitățile habitatelor și variațiile genetice). Acești factori proprii sunt, în general, cunoscuți, sau pot fi estimați și pot fi utilizați la evaluarea potențialului adaptativ sau a vulnerabilității potențiale. Factorii externi (și anume concurența cu alte specii, amenințările cu dăunători și agenții patogeni și presiunile asupra habitatelor, cum ar fi incendiile) sunt mai puțin cuantificabile și, prin urmare, sunt asociate cu un grad mai ridicat de incertitudine.

Potențialul adaptativ

Amenințarea speciilor sau a populațiilor este un fenomen multilateral. Există două posibilități naturale de a evita amenințarea de dispariție a unei specii, când schimbările climatice sunt unul dintre principalele motoare: adaptarea și migrația - atât polenul, cât și semințele (de exemplu, Kremer 2007, Aitken et al., 2008).

Reacțiile de adaptare cuprind 1) plasticitatea (toleranța la nivel individual), 2) procesele epigenetice (de la o generație la alta, de exemplu, Madlung, 2004) și 3) variația genetică (divergența evolutivă și selecția naturală la nivel de populație sau de specie). În cazul arborilor, diferențierea genetică în trăsăturile adaptive este în general ridicată. Aceasta indică o selecție puternică de diversificare în trecut (Savolainen et al., 2007; Alberto et al., 2013). Studiile recente menționează, în general, un grad ridicat de plasticitate a speciilor de arbori, precum și un prezența elementelor proceselor adaptive epigenetice, în special în ceea ce privește factorii limitative, cum ar fi toleranța la secetă și rezistența la îngheț (Schueler et al., 2014), la fel sânt menționate diferențe în legătură cu fenologia (Menzel et al., 2006). Capacitatea de adaptare la toate nivelurile (plasticitate, epigenetică și genetică) indică potențialul de adaptare și persistența speciilor. O problemă majoră în ceea ce privește cuantificarea potențialului adaptiv este lipsa de date. În special, independența variației genetice neutre și a variației genetice adaptive (Holderegger et al., 2006) indică faptul că majoritatea datelor genetice disponibile nu ajută la prognozarea potențialului adaptativ. Dezvoltarea markerelor genetici adaptivi care codifică trăsăturile ecologice (de exemplu prin scanarea genomului și studiile de asociere fenotip / genotip) este în curs de desfășurare (de exemplu, Holderegger et al., 2008; Manel et al., 2010; Kremer et al., 2011) dar nu avem încă un set cuprinzător de markeri pentru a prognoza potențialul de adaptare. În multe cazuri, singura opțiune este utilizarea variabilității peisajului și a habitatului în arealul speciilor / populațiilor, ca indicator Proxy al potențialului de adaptare. Răspunsurile adaptive ale arborilor și ecosistemelor forestiere la schimbările de mediu și la eroziunea biodiversității au fost studiate în cadrul Rețelei de Excelență EVOLTREE, care a fost lansată ca o inițiativă europeană în aprilie 2006. Genele candidate au fost catalogate pentru trăsături fenologice și secetă în importante familii de arbori cum ar fi Salicaceae, Fagaceae și Pinaceae (Kremer et al., 2011).

Răspunsurile migrației implică evitarea amenințării prin dispersare. Migrația depinde de capacitatea speciei de a produce polen și semințe sau de dispersie vegetativă, permeabilitatea dispersiei pe matricea peisajului și disponibilitatea unui habitat adecvat pentru colonizare. Deși migrația viitoare, departe de extremele de temperatură din sud, se presupune că este predominant latitudinală, ea poate implica și o componentă altitudinală în care obstacolele verticale, cum ar fi existența munților. De fapt, fără obstacolele verticale, migrația trebuie să fie mult mai rapidă pentru a se evita amenințările (Loarie et al., 2009, Ordonez & Williams, 2013). Pe de altă parte, evenimentele episodice cu frecvență redusă de dispersie pe distanțe lungi pot accelera răspunsurile migrației populației (Alberto et al., 2013b). În cazul speciilor specializate pentru habitatele fluviale, cum ar fi plopul negru (*Populus nigra*), migrația potențială prin diseminarea naturală a semințelor în zone mai favorabile este limitată datorită capacității limitate de a migra atât în latitudine, cât și în altitudine, de-a lungul intervalului limitat de coridoarele riverane (Villar et al., 2010).

Previziunile privind intervalele ecologice de la modelele bioclimatice indică faptul că o proporție mare a zonei din cadrul arealului potențial de distribuție, a unei specii nu este realizat de acestea datorită influenței ecologiei comunității (de exemplu, concurența între specii climatice stabilite și co-migratori, cooperarea cu vectori de semințe (de exemplu, Savolainen et al., 2007; Schueler și colab., 2014). În perioadele de schimbare a mediului toate speciile de arbori sunt susceptibile de a suferi întârzieri în performanță. Astfel, concurența inter specifică poate fi redusă, facilitând persistența în condiții suboptimale. Migrația mai multor specii include o imensă varietate de interacțiuni ecologice și astfel duce la o mare incertitudine (Kremer 2007, Aitken et al., 2008).

În general, raritatea și variațiile genetice scăzute sunt folosite ca și indicatori ai amenințării. Cu toate acestea, procesele de amenințare pot duce la o diferențiere genetică și, astfel, la o adaptare locală. O perspectivă evolutivă asupra diversității speciilor arată că taxele sunt dinamice, nu statice. În unele cazuri, diviziunile actuale ale subspeciei și ale populațiilor ca specie distinctă nu se vor potrivi probabil cu realitatea viitoare (de exemplu, speciile de stejar alb din Europa, Petit et al., 2002).

Distribuția populațiilor

Modelele demografice și de distribuție specifice oferă indicații generale pentru amenințări reale sau potențiale. Diferențele în distribuție vor reprezenta un factor-cheie în susceptibilitatea unei specii la schimbările climatice. Prin urmare, este necesară o estimare brută și o clasificare a tipurilor specifice de distribuție a populațiilor. Potrivit lui Frey (2003), populațiile pot fi: a) în zona principală de distribuție (în principal în conjuncție cu populațiile); b) o parte dintr-o zonă de distribuție laterală (în principal populații disjuncte); sau c) în zona relictă). Aceste categorii sunt separate de distribuția speciilor și sunt deosebit de relevante atunci când se evaluează impactul asupra populațiilor de arbori, sau asupra unităților de conservare genetică. Aceste tipuri de distribuție, sunt importante în evaluarea amenințării, deoarece o populație din zona principală de distribuție (nucleul) va fi probabil mai puțin amenințată decât cele de la periferia arealului.

Estimarea tipurilor specifice de amenințări

Scopul principal al abordărilor de conservare prezentate în acest raport este de a menține o variație adaptivă în întregul areal de distribuție a arborilor forestieri din Europa. Astfel, trebuie să ne concentrăm asupra acelor regiuni care, cel mai probabil, vor fi cele mai afectate. Aceste regiuni conțin subpopulații care au o variație genetică importantă intraspecifică. Concentrarea asupra populațiilor de arbori marginali și periferici este evidențiată într-o inițiativă comună actuală (COST Acțiunea FP1202 *Consolidarea conservării: o problemă esențială pentru adaptarea populațiilor marginale / periferice ale arborilor forestieri la schimbările climatice în Europa* (MaP-FGR)). Un interes special se regăsește în populațiile marginale din marginile posterioare ale arealelor speciilor

(Hampe și Petit, 2005). IPCC (2007a) a indicat că în Europa, Peninsula Iberică de Sud, Alpi, Coasta de Est a Adriaticii și Grecia de Sud sunt acele regiuni care vor fi cel mai afectate de schimbările climatice. Principala amenințare în aceste zone este creșterea temperaturii și a susceptibilității la secetă. Acestea sunt zonele, care mențin populațiile la marginea arealului de sud a multor specii. Un alt set important de populații marginale este cel al insulelor.

Pe baza criteriilor IUCN amenințate cu privire la statutul criteriului de pierdere a numărului populației în distribuții abundente și restrânse (IUCN, 2012), populațiile marginale de arbori ale unor specii răspândite ar trebui considerate amenințate. Deși amploarea este diferită, principalii indicatori ai tipului de amenințare și pragurile sunt similare atât pentru speciile, cât și pentru populațiile amenințate. Este posibil să se evalueze un număr de indicatori pentru amenințările actuale și viitoare.

Indicatorii pentru amenințările generale

Variabilității genetice reduse. În comparație cu plantele erbacee anuale și perene, speciile de arbori au tendința de a avea o diversitate genetică neutră mai mare în cadrul populațiilor, în timp ce diferențierea genetică între populații este mai mică în mai mult de 90% din speciile de arbori și se corelează cu potențialul ridicat al fluxului de gene la distanțe mari pentru arbori, (Alberto și colab., 2013b).

În schimb, *Abies pinsapo* este o specie rară și endemică în sudul Spaniei și în Marocul de Nord, ce prezintă deja semne de declin a variabilității genetice (Liepelt et al., 2010). Un alt exemplu este *Abies nebrodensis*, care prezintă niveluri scăzute de variabilitate genetică neutră (Parducci et al., 2001). Datorită relației sale strânse cu *Abies alba*, populația rămasă de brad sicilian trebuie considerată ca o populație marginală, la limita arealului de distribuție. Un caz similar este sub populația siciliană a stejarului din Turcia (*Quercus cerris* subsp. *Gussonei*, interpretată local ca *Quercus gussonei*, Sala et al., 2011).

Abundență scăzută sau în scădere. Acesta este criteriul principal al IUCN pentru amenințare, deoarece este relativ ușor de evaluat prin studii demografice. Au fost luate în considerare pragurile pentru populațiile viabile minime și o scădere a populației pe o perioadă de trei generații sau 100 de ani (pentru speciile vii longevive) (IUCN 2012).

Declinul poate consta în degradarea arborilor adulți, cum ar fi cazurile de mortalitate induse de secetă la marginile sudice ale distribuției (de exemplu, cedrul (*Cedrus atlantica*), degradat în Maroc și Algeria, sau decesul pinului (*Pinus sylvestris*) în Turcia, în văile alpine interioare și aride ale Elveției (Allen et al., 2010). Alte cauze ale degradării pot fi legate de agenții patogeni introduși, de ex. stejarul de plută (*Quercus suber*) declanșate de infecția cu *Pythophtora tinctoria* din sudul Spaniei (Gómez-Aparicio, 2013).

Lipsa capacității regenerative și a capacității de dispersie. Lipsa regenerării poate duce, de asemenea, la scăderea abundenței. Deficitul de recuperare în timp, duce la o structură de vârstă nedurabilă într-un arboret și, în mod inevitabil, la declinul abundenței. La marginea sudică a defecțiunilor de regenerare datorită secetei, regenerarea se poate produce cu mult înainte ca arborii adulți să fie afectați (faze de creștere a arborilor tineri foarte susceptibile). O altă cauză poate fi supra pășunatul produs de vânat, cerbul nobil, ca în cazul populațiilor de bază de tisă (*Taxus baccata*) și a populațiilor marginale nordice ale sorbului (*Sorbus domestica*) din Elveția (Rudow, 2001) sau pășunatul bovinelor, în cazul arțarului italian (*Acer opalus* subsp. *Granatense*) din sudul Spaniei (Gómez-Aparicio et al., 2005).

Setul de semințe și capacitatea de dispersare sunt esențiale pentru supraviețuirea populațiilor și a speciilor. Ambele sunt afectate critic de către agenții de polenizare și cei de dispersie.

Grad ridicat de fragmentare. Fragmentarea poate crește vulnerabilitatea și eroziunea genetică. Bazându-se pe fluxul de gene pe distanțe lungi la multe specii de arbori (Kremer et al., 2012), efectele de fragmentare încep atunci când distanțele dintre populațiile de arbori ajung la 50-100 km. Specii endemice rare, cu modele de distribuție limitate, au adesea un nivel ridicat de fragmentare, cum ar fi *Abies pinsapo* cu separare în diferite populații relict. În funcție de interpretarea taxonomică a bradului Trojan, este vorba despre o singură populație puternic izolată (*Abies equi-trojani*) sau o populație marginală extrem de fragmentată de brad turcesc (*Abies bornmuelleriana* subsp. *Equi-trojani*) sau chiar de brad caucazian (*Abies nordmanniana* subsp. *Equi-trojani*).

Indicatori pentru amenințarea declanșată de schimbările climatice

Sensibilitate ridicată la stresul cauzat de secetă. Există numeroase indicii ale creșterii frecvenței cazurilor extreme de secetă din ultimele decenii, precum și a impactului puternic al secetei asupra declinului speciilor și populațiilor (de exemplu, Allen et al., 2010, Choat și colab., 2012). Speciile care sunt cele mai predispuse, sunt cele din populații marginale de la limita arealului sudic (de exemplu, cedrul Atlas în Maroc și Algeria, sau pinul scoțian în Anatolia Centrală, Turcia). Există mai multe variabile corelate cu seceta, cum ar fi indicii de ariditate, precipitațiile anuale medii sau temperatura maximă. Mai mult decât atât, evenimentele extreme de secetă sunt adesea însoțite și întărite de regimurile de perturbare, cum ar fi insectele dăunătoare existente sau cele noi (gradația (înmulțirea în masă) a gândacilor de scoarță, omizii procesionare sau de incendii (de exemplu Allen et al., 2010).

Impedimente ale migrării. Caracteristicile fizice ale peisajului pot acționa ca și bariere în calea potențialelor rute de migrație de-a lungul gradientului zonal. Marea Mediterană este o barieră pentru deplasările spre nord ale populațiilor din Africa de Nord sau insule din specii mediteraneene (de exemplu, *Cedrus atlantica* în munții Atlas, *Cedrus libani* subsp. *Brevifolia* sau *Quercus alnifolia* în Cipru), sau pentru modificările de pe coasta de est-vest / peninsulă / celeilalte insulele.

Un alt tip de barieră constă în regiuni plate, mari pe plăci continentale, pentru specii sau populații care folosesc deja intervale de munte ca obstacole verticale adiacente, sau în interiorul acestor câmpii, de ex. Castilla-La Mancha în Spania Centrală, Anatolia Centrală din Turcia, bazinul panonian din Ungaria și câmpiile din nord-estul Europei și cele ruse. Nivelul de intensitate a amenințărilor crește dacă obstacolele verticale lipsesc (de exemplu, *Larix decidua* și *Pinus cembra* în Carpați).

Limitarea habitatelor rare, azonale. O specie sau o populație limitată la habitatul montan azonal se poate fragmenta și acest lucru poate duce la statut de amenințat (de exemplu cele mai multe specii de arbori boreali din Europa Centrală, cele mai multe specii de foioase din regiunea mediteraneeană). O geologie diferită a regiunilor montane, comparativ cu zonele din jur, poate avea efecte similare. Sunt cunoscute multe exemple de specii secundare, de ex. specii de arbori care se găsesc numai pe solurile calcaroase din lanțurile muntoase, datorită capacității competitive slabe din alte zone (de exemplu, *Pyrus pyraeaster* din Munții Jura, *Pinus heldreichii* în Balcani).

O altă limitare a habitatelor azonale rare este legată de specializări în regiuni umede. Există exemple tipice la limitele mlaștinilor (de exemplu, *Pinus mugo* subsp. *rotundata*) sau la pădurile aluviale (de exemplu, *Ulmus laevis*, *Populus nigra*, *Alnus cordata* și *Platanus orientalis*). Chiar dacă habitatele azonale umede sunt mai puțin susceptibile la presiunea secetei, migrația este puternic împiedicată, în special în mlaștini și zone cu păduri aluviale foarte fragmentate, datorită gestionării intensive a bazinelor hidrografice și regularizării râurilor (Barsoum and Hughes, 1998).

Factori ecologici. Un număr de factori ecologici pot fi asociați cu / sau intensificați de schimbările climatice. Schimbările climatice au fost implicate în creșterea speciilor invazive, a agenților patogeni și a bolilor (de exemplu, Simberloff, 2000). Odată cu schimbările climatice, vor apărea modificări ulterioare ale performanței speciilor, ducând astfel la o concurență între specii, nu numai cu specii străine invazive, ci și cu specii indigene care sunt favorizate, de exemplu, de soluri uscate. Un alt caz particular de indicatori ecologici va fi creșterea riscului de incendii, în special în regiunea de sud. Acest lucru va favoriza speciile care sunt adaptate la foc - cum ar fi germinarea semințelor după un incendiu.

Privire de ansamblu asupra speciilor și a populațiilor amenințate

Nu există o listă roșie care să se concentreze asupra speciilor de arbori europeni amenințați, cu atât mai puțin o listă care include populațiile de arbori amenințate de schimbările climatice. Lista globală IUCN a arborilor amenințați (Oldfield et al., 1998), oferă numai informații fragmentate referitoare la speciile din Europa. Lista roșie europeană a plantelor vasculare (Bilz și colab., 2011) se concentrează asupra plantelor enumerate în documentele de politici, a rudelor sălbatice ale plantelor cultivate și a plantelor acvatice. Listele din documentele de politici datează din 1991 sau mai devreme. În prezent, un număr limitat de specii de arbori potențial vulnerabili la schimbările climatice sunt clasificați în categoria "pe cale de dispariție" (de exemplu, *Abies pinsapo*, *Cedrus atlantica*); cele mai multe sunt încă în categoria "mai puțin amenințate" (de exemplu, *Pinus sylvestris*, *Populus nigra*, *Alnus cordata*, *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, *Platanus orientalis*, *Juniperus thurifera*) sau "încă nu au fost evaluate" (de exemplu, *Ulmus laevis*, *Abies alba* subs. *nebrodensis*, *Liquidambar orientalis*, *Quercus alnifolia*, *Acer sempervirens*) (IUCN, 2014). Este necesară o trecere în revistă actualizată a speciilor și populațiilor amenințate și potențial de amenințate arborilor europeni, inclusiv asupra populațiilor marginale și a regiunilor adiacente din Europa (Maghreb / Africa de Nord, Orientul Mijlociu / Orientul Apropiat, Caucazul / Alborz). Acest lucru necesită o evaluare sistematică a tuturor taxonilor de arbori din cadrul arealului de distribuție al acestora. O listă preliminară a speciilor și a populațiilor de arbori amenințați a fost dezvoltată în timpul pregătirii acestui raport. Cu toate acestea, se recomandă ca această listă preliminară să fie în continuare dezvoltată și finalizată ca o activitate separată EUFORGEN pe viitor. O astfel de listă poate fi dezvoltată utilizând criteriile discutate în secțiunea de mai sus.

De asemenea, este important să se ia în considerare acele specii de arbori care fac parte din flora macaroneziană izolată (*Laurisilva*) din insulele atlantice adiacente. *Laurisilvae* reprezintă ultima relicvă a florei din pădurile veșnic verzi din terțiarul Mediteranean (Insulele Canare, Madeira) sau sub-mediteraneene (Azore) (Schäfer 2003). Flora macaroneziană este compusă din multe specii endemice, care prin natura izolării și fragmentării lor trebuie considerate specii potențial amenințate sau amenințate (de exemplu, mai multe specii de *Laurus* și *Ilex*, *Picconia excelsa*, *Ocotea foetens*, *Arbutus canariensis*).

Cunoașterea măsurilor și a strategiilor existente

În fond

Conservarea FGR se confruntă cu mai multe provocări, schimbările climatice fiind cele mai recente. Există o nevoie urgentă de a consolida eforturile între țările europene pentru conservarea RGF, în special cele din populațiile marginale. Europa este o regiune complexă, în care arealele de distribuție a speciilor de arbori se extind în zone geografice mari, cu variații semnificative de

mediu. Deoarece distribuțiile biologice nu coincid cu granițele naționale, este crucială cooperarea regională între țările atât în gestionarea durabilă a pădurilor, cât și în conservarea RGF.

Încadrarea RGF în politicile naționale și cele ale UE

Programele naționale forestiere sunt instrumente de politică importante, care pot sprijini integrarea conservării RGF în acțiuni la nivel practic de management al pădurilor. Programele naționale forestiere sunt acum în vigoare în multe țări europene (Lefèvre, 2007, Rusanen et al., 2007, Hubert și Cottrell, 2007, Graudal et al., 1995, Behm et al., 1997, Tessier du Cros, 2001). În cadrul multor programe, acțiunile de conservare a RGF, sunt destinate pentru menținerea variabilității trăsăturilor adaptive (de exemplu, Graudal et al., 1995, Myking, 2002). Au fost revizuite diferite strategii de conservare bazate pe impactul așteptat al schimbărilor climatice, dar mai sunt multe de implementat în practicile de management al pădurilor. Administratorii de pădure nu sunt adesea conștienți de importanța folosirii materialului forestier de reproducere de înaltă calitate și a consecințelor genetice ale practicilor de management. Utilizarea adecvată a RGF ar putea într-adevăr să susțină rezistența pădurilor, să atenueze riscurile și să faciliteze adaptarea pădurilor la schimbările climatice. În acest sens, conservarea și utilizarea RGF ar merita să fie inclusă în strategiile naționale de adaptare la schimbările climatice și în planurile naționale de acțiune privind biodiversitatea. Planurile naționale de acțiune privind biodiversitatea se concentrează, în general, pe conservarea diversității biologice numai la nivel de specie și peisaj, în timp ce este necesară o mai bună legătură între rețelele de conservare genetică a pădurilor și alte obiective privind biodiversitatea (Lefèvre et al., 2013). Discuția asupra integrării conservării și utilizării RGF, ca parte a managementului durabil al pădurilor în aceste politici și strategii EUFORGEN, este în curs de desfășurare. În contextul schimbărilor climatice, Sistemul european de informații privind resursele genetice forestiere (EUFGIS), lansat în septembrie 2010, a fost creat cu scopul specific de a sprijini țările în aceste eforturi. Aceasta ar putea promova legături utile între programele naționale de conservare a RGF și eforturile de conservare a biodiversității și poate sprijini legăturile între activitățile de conservare și cele de cercetare aplicată.

Strategii

Abordări în situ

Rețele de conservare. Având în vedere schimbările climatice preconizate, conservarea pe termen lung a diversității genetice forestiere asigură managementul durabil al pădurilor. Variațiile genetice ereditare și intensitatea selecției joacă un rol critic în răspunsul evolutiv al speciilor și populațiilor la schimbările mediului. Pentru aceasta, prima prioritate a unei strategii de conservare ar trebui să fie menținerea unor niveluri ridicate de diversitate în cadrul unităților de conservare

genetică și a speciei în Europa (Koskela et al., 2007). În cadrul EUFORGEN, se acordă prioritate conservării dinamice a resurselor genetice forestiere *in situ* și *ex situ*. O rețea pan-europeană de unități de conservare genetică selectată pentru diferite specii de arbori a fost creată în conformitate cu cerințele minime pan-europene și standardele de date ale acestor unități (Koskela et al., 2013). Scopul acestei rețele este conservarea diversității genetice adaptive prezentă în întregul areal de condiții europene în care apare fiecare specie de arbori. Datele geografice referitoare la unitățile de conservare genetică bazate pe 26 de standarde de date la nivel de unitate (arie geografică) și 18 standarde de date la nivel de populație (specii de arbori țintă dintr-o unitate) au fost documentate în baza de date EUFGIS. În mai 2015, rețeaua era constituită din 3 214 unități, cu 4 061 de populații cu 100 de specii de arbori. Baza de date EUFGIS s-a dovedit a fi deosebit de utilă în identificarea lacunelor din rețeaua de conservare, contribuind astfel la crearea unui set mai cuprinzător de unități de conservare genetică.

Diversitatea adaptivă conservată a arborilor forestieri în întregul arealului de distribuție va furniza materia primă prin care adaptarea prin selecție naturală va avea loc în timpul schimbărilor climatice. Folosind sistemul informațional EUFGIS ca un instrument și zonarea climatică a Europei (Metzger et al., 2013) ca Proxy pentru caracterizarea diversității adaptive conservate în unitățile de conservare genetică de pe întreg continentul, o rețea centrală de unități dinamice de conservare poate fi aleasă pentru diferite specii în funcție de distribuția geografică, caracteristicile ecologice și vulnerabilitatea lor la schimbările climatice (vezi de Vries et al., 2015).

Monitorizarea. Monitorizarea continuă este un element important într-o strategie de conservare a RGF. În special, eforturile recente ale EUFORGEN de a dezvolta și de a întreprinde o monitorizare genetică s-ar putea dovedi a fi utile în timp. Inventarul pe teren și monitorizarea continuă care încorporează date ecologice și genetice ar oferi o bază pentru a evalua cât de bine este conservată diversitatea genetică.

Acest lucru ar arăta cât de bine se menține diversitatea genetică adaptivă și neutră în timp și ar arăta schimbări în compoziția speciilor, apariția speciilor-indicator și a concurenților speciilor țintă și la rândul lor, indică consecințele practicilor de management și / schimbări ale climei (Aravanopoulos, 2011). Datele generate de monitorizare ar putea fi stocate în portalul EUFGIS și utilizate pentru a revizui planurile de gestionare.

Managementul *in situ*.

Deoarece există amenințări la adresa integrității RGF din mai multe cauze și având în vedere incertitudinea previziunilor climatice, ar trebui să se ia în considerare un spectru complet de posibile strategii de conservare și măsuri de gestionare în contextul schimbărilor climatice.

Pentru cele mai multe specii forestiere, planurile de gestionare a unităților de conservare permit intervenții silvice, orientate spre susținerea regenerării naturale, atât din punct de vedere al calității cât și al cantității de material regenerabil. Aplicarea unor valori critice pentru numărul și densitatea arborilor de semințe, scurtarea timpului de regenerare, reglarea concurenței altor specii de arbori și controlul speciilor invazive ar trebui, de asemenea, luate în considerare. Un nivel bun al diversității genetice și al consangvinității reduse în puieții regenerați, ar trebui să fie un obiectiv de gestionare. Regenerarea naturală ar trebui să fie mijlocul preferat, dar dacă acest lucru nu se întâmplă, regenerarea asistată poate fi realizată folosind loturi de semințe locale pentru a menține identitatea fenotipică locală (Lefèvre, 2007).

Trei strategii diferite au fost propuse recent pentru a spori rezistența pădurilor la schimbările climatice în Europa Centrală (Bolte et al., 2009). Aceasta include: 1) "Conservarea structurilor forestiere" prin intervenții forestiere pentru arborete mai vechi situate în zone care se presupune că au un impact redus asupra schimbărilor climatice; 2) se propune adaptarea activă prin rărire, repoziționare și alegerea speciilor alternative pentru arboretele unde se anticipează că impacturile sunt severe și 3) "adaptare pasivă" pentru arboretele de valoare redusă (ecologice și economice) care se vor baza pe evoluția naturală, cu care se confruntă schimbarea climatică pe viitor. Pentru a ajuta pădurile britanice să atingă niveluri mai ridicate de diversitate genetică, ca acestea să se adapteze la schimbările climatice, au fost propuse alte trei strategii potențiale, fie prin regenerare naturală, fie prin plantare și fiecare are un amestec diferit de riscuri și beneficii (Hubert și Cottrell, 2007): 1) variații genetice (diversitate inițială mai mare) și promovarea regenerării naturale prin intervenții forestiere (îngrijiri, rărituri, eliminarea selectivă a indivizilor de slabă calitate); 2) plantarea unui amestec de proveniențe alături de populația actuală, utilizând cele mai bune previziuni climatice pentru a ghida alegerea proveniențelor (folosindu-se, de asemenea, o parte din stocul local, ar putea fi utilă ca măsură de protecție); și 3) utilizarea migrației asistate prin plantarea unei singure specii de proveniență sau specie în locații care se preconizează că vor prezenta rate ridicate ale schimbărilor climatice. Această opțiune va implica transferul resurselor genetice provenite de la populații aflate sub presiuni climatice speciale în zone, care se preconizează că vor avea condiții viitoare echivalente cu condițiile existente. De exemplu, transferul populațiilor adaptate la seceta din sud, pentru a crește adaptabilitatea populațiilor din nord, care altfel ar fi crescut susceptibilitatea la secetă în viitor (O'Neill et al., 2008). Acest aspect v-a fi abordat în detaliu în secțiunea recomandări a acestui raport.

În cazul programelor de restabilire a arboretelor ar trebui avută în vedere o perspectivă evolutivă (Rice and Emery, 2003). Utilizarea exclusivă a materialelor locale poate să nu permită adaptarea rapidă la tablourile climatice prevăzute (Harris et al., 2006). Cu toate acestea, pentru a preveni introducerea agenților patogeni forestieri invazivi, ar trebui dezvoltate restricții privind introducerea. Introducerea de noi specii poate avea un impact negativ asupra biodiversității native

(dispariția speciilor locale de arbori, împerecherea între speciile indigene și native, pierderea stabilității în rândul populației autohtone), (Chornesky și Randall, 2003, Cleeland and Mooney, 2001). Refacerea și împădurirea (reconstrucția ecologică) a terenurilor agricole degradate a fost, de asemenea, considerată ca un răspuns important la atenuarea schimbărilor climatice. Împădurirea și reîmpădurirea puse în aplicare pentru captarea carbonului, pentru a atenua încălzirea globală în conformitate cu Protocolul de la Kyoto, ar putea avea ca rezultat plantații cu o diversitate genetică limitată sau cu specii exotice cu creștere rapidă, care ar putea avea un impact negativ asupra biodiversității (Caparros și Jacquemont, 2003).

Ca opțiune preventivă, în unele cazuri pot fi create unități artificiale *in situ* pentru a servi ca populații fondatoare pentru noile unități, ca în cazul speciilor riverane (de exemplu, *Populus nigra*) (Rotach, 2001).

Abordări *ex situ*

Dinamică *ex situ*. Conservarea RGF va deveni probabil mai complicată datorită schimbărilor climatice rapide. Prin urmare, acțiunile de conservare *ex situ* vor deveni din ce în ce mai importante ca o completare sau substituie pentru conservarea *in situ* (St. Clair and Hove, 2011). Definite în general ca păduri plantate în afara habitatului original al resurselor genetice, arboretele de conservare *ex situ* pot fi resurse genetice ale variabilității genetice necunoscute sau caracterizate genetic prin trăsături fenotipice sau markeri moleculari. Acestea tind să fie costisitoare pentru a le stabili și menține. Conservarea dinamică poate avea loc în *ex situ* atunci când are loc selecția naturală a unui teritoriu și când arborii de proveniență artificială (specii, proveniențe, familii) pot fi regenerați din semințe fără intervenție prea mare (Amaral, 2004). În cazul în care populația inițială este suficientă pentru eșantionare și arboretul este suficient de mare (dimensiune minimă viabilă a populației) (FAO, 1992), aceste arborete ar putea oferi surse de material de reproducere pentru silvicultura comercială. Deși costisitoare, arboretele cu mai multe amplasamente pot asigura adaptări ulterioare la o serie de condiții de mediu diferite și pot preveni pierderile neașteptate de material genetic (Geburek și Turok, 2005).

Migrația asistată constă în transferarea speciilor sau a populațiilor dintr-un sit vulnerabil într-un sit nou, care se preconizează a fi mai adecvat în cadrul viitoarelor prognoze climatice. Migrația poate cuprinde transferuri pe distanțe lungi în regiunile mai favorabile sau, într-adevăr, susține o populație amenințată cu material genetic extern. Cu toate acestea, aceasta poate include și transferuri mai scurte, mai elementare, pentru a sprijini migrația naturală prin crearea coridoarelor de migrație și a barierelor. Spre exemplu, zonele forestiere izolate, înconjurată de terenuri agricole din câmpie, ar putea fi mai bine conectate prin stabilirea unor arborete mici sau a unor linii / garduri lineare pentru a le lega și pentru a facilita un flux mai mare de gene. Testele de proveniență pot fi folosite pentru a determina curbele de răspuns ale surselor de semințe la diferite climate. Exemple,

inclusiv cele bazate pe molidul din Norvegia (*Picea abies*), pinul Loblolly (*Pinus taeda*) și alte specii de pin sudic, care au prezentat o creștere redusă între 5 și 10% comparativ cu sursele de semințe adaptate genetic (Schmidtling, 1994). Migrația asistată rămâne un concept controversat, care evocă discuții în cadrul comunității de conservare (McLachlan et al., 2007). În Europa, comunitatea științifică este de acord că, pentru anumite specii care se dezvoltă în zonele, care vor experimenta schimbările climatice cele mai intense, migrația asistată oferă o strategie potențial rentabilă pentru atenuarea schimbărilor climatice, dacă se utilizează în plus față de strategiile tradiționale de conservare și de implementare a practicilor de conservare genetică (Loss et al. 2011a). Migrația asistată sau relocarea ar putea fi adoptate pe scară largă ca strategie de răspuns, dar nu a fost încă pusă în aplicare prin măsuri politice (Loss et al., 2011b). Cu toate acestea, va avea probabil multe probleme, cum ar fi sinecologie (de ex. asincronii sau absența polenizatorilor specifici, vectori de semințe specifici, micoriza specifică) și adaptări negative (de exemplu, probleme de îngheț, timpul migrației spre nord). Orientările privind transferul de proveniență și zonele de însămânțare trebuie adaptate pentru a ține cont de migrația spre nord a speciilor și de eventualele asocieri în spațiu și timp (Hemery, 2007). În Canada, Columbia Britanică este prima jurisdicție care a modificat liniile directoare privind transferul de semințe în mod specific ca răspuns la schimbările climatice (Loss et al., 2011a).

Statică *ex situ*. Livezile de semințe, băncile de clone și arhivele clonale sunt exemple de unități de conservare *ex situ* statice, prin faptul că nu se vor produce în mod natural modificări în structura genetică a colecției. Aceste plantații sunt stabilite cu singurul scop de a conserva diversitatea genetică a unei populații valoroase, de a proteja speciile pe cale de dispariție care ar putea fi pierdute sau de a conserva / creșterea diversității genetice a speciilor rare și ale celor cu distribuție dispersată.

Colecțiile de arbori din arborete sau grădini botanice pot contribui, de asemenea, la menținerea genotipurilor unice și rare ale diferitelor specii de arbori, în ciuda faptului că, în majoritatea cazurilor, aceste colecții nu reprezintă o variabilitate genetică în interiorul speciilor datorită numărului mic de indivizi prezenți (Hurka, 1994). Colecțiile din grădinile botanice, deși limitate, sunt utile și ca resurse de cercetare și, de asemenea, pentru propagare (de exemplu, Kay et al., 2011).

Pentru speciile în pericol iminent de dispariție sau cu populații în declin, care nu produc semințe, sau ale căror semințe sunt recalcitrante, crioconservarea, propagarea vegetativă și cultura *in vitro* oferă singurele tehnici sigure și rentabile de conservare a acestora, chiar dacă se poate păstra numai o cantitate de diversitate genetică (Theilade et al., 2004). Conservarea *in vitro* poate fi utilizată în mod eficient numai pentru colectarea și stocarea anumitor genotipuri de specii problematice care sunt răspândite vegetativ (Engelman, 1997).

Implicații pentru conservare

Inițiativele de conservare prezentate în acest raport depind de o serie de aspecte logistice și tehnice.

Problemele logistice sunt în primul rând cele legate de resurse - cost și capacitate. Dat fiind că această conservare a RGF este o inițiativă transfrontalieră, ea va implica colaborarea organelor de stat pentru a asigura conservarea eficientă a speciilor și a populațiilor amenințate în viitor. Costurile de evaluare a amenințărilor, de identificare a unităților, de diseminare și de gestionare a unităților, de monitorizare continuă în viitor, trebuie abordate la nivel național și pan-european. După cum se subliniază în acest raport, populațiile de arbori din sud sunt cele mai amenințate de schimbările climatice. Cu toate acestea, investiția în conservarea acestor populații poate fi esențială pentru supraviețuirea speciilor în ansamblu și beneficia dincolo de geografia actuală a acestor populații.

Problemele tehnice depind de realitatea biologică a schimbărilor climatice și de răspunsul populațiilor și speciilor de arbori. O chestiune de preocupare mai evidentă, este natura dinamică a eforturilor de conservare necesare. Schimbările climatice și răspunsul biotei la acestea sunt dinamice. De exemplu, în interiorul arealului bioclimatic se vor schimba odată cu modificarea schimbărilor climatice și adaptarea speciilor. Ca o consecință, se vor schimba și distribuțiile speciilor și compozițiile genetice ale speciei. Monitorizarea, în special monitorizarea genetică, va fi o componentă cheie a eforturilor de conservare. Caracterul dinamic al schimbării și al răspunsului trebuie să fie construit în abordările viitoare de conservare a RGF în Europa și în afara acesteia. În ceea ce privește modificările în compoziția genetică, este important să cunoaștem opiniile diferitelor părți interesate privind conservarea. Din perspectiva managerului de pădure, beneficiul RGF cel mai atrăgător, este cel care dă naștere arborilor care produc lemn de bună calitate. Cu toate acestea, din punct de vedere pur de conservare, capacitatea adaptivă a unei specii are prioritate față de chereștea de bună calitate. Există o probabilitate părtinitoare și o schimbare rezultantă a frecvențelor alelelor, în funcție de raționamentul selecției. Astfel, trebuie să se țină cont de potențialul de adaptare la conservarea unităților. De asemenea, trebuie luată în considerare situația dinamică atunci când se iau în considerare speciile și bolile invazive potențiale. Acest lucru este, de asemenea, important atunci când se ocupă cu populațiile aflate în avangarda distribuirii speciilor. Aceste populații vor coloniza noi zone și, eventual, vor perturba habitatele existente.

De asemenea, trebuie să recunoaștem că este posibil să fie dificilă salvarea tuturor. De exemplu, sunt necesare populații de dimensiuni adecvate pentru a menține variabilitatea adaptivă. Cu toate acestea, acest lucru nu poate fi posibil în cazul populațiilor relictice mici, care au fost supuse unei secete extreme. Prin urmare, va fi necesar să se acorde prioritate unităților selectate pe baza resurselor limitate. Accentul ar trebui să se concentreze asupra populațiilor marginale și, în special,

asupra populațiilor în creștere. Populațiile din spatele distribuției speciilor și speciile cu distribuție limitată în cele mai sudice zone ar putea să se confrunte cu dispariția. Migrația asistată sau unitățile de *conservare ex situ* în zonele corespunzătoare, pot fi singura opțiune posibilă pentru conservarea dinamică a acestor specii și populații.

RECOMANDĂRI PENTRU MANAGEMENTUL CONSERVĂRII UNITĂȚILOR GENETICE ȘI ÎNFIINȚAREA UNITĂȚILOR SUPLIMENTARE

Orice strategie de conservare orientată spre reducerea impactului negativ al schimbărilor climatice ar trebui să vizeze reducerea riscului de performanță slabă sau de mortalitate în masă. Natura incertă a schimbărilor climatice și intervalele lungi ale generațiilor de arbori forestieri au ridicat un risc deosebit de adaptare redusă la schimbările climatice (St. Clair and Howe, 2007). Diversitatea genetică este esențială pentru durabilitatea pădurilor pe termen lung, deoarece furnizează materia primă pentru adaptare și selecția naturală. Administratorii de păduri ar putea lua în considerare opțiunile care vizează menținerea diversității genetice existente în păduri sau, în cazurile în care acestea sunt deosebit de sărace, chiar să le crească. Pentru a gestiona eficient unitățile, se propune elaborarea unui instrument de decizie tip cascadă, care să ghideze managerii de păduri în evaluarea acțiunilor corespunzătoare. Un proiect inițial al unui astfel de instrument este prezentat în suplimentul 1. Se propune dezvoltarea acestui lucru prin acțiuni ulterioare ale EUFORGEN și încercarea de a include previziunile pe baza cunoștințelor științifice actuale.

Gestionarea unităților existente de conservare genetică

Unitățile de conservare genetică sunt populații considerate a fi deosebit de valoroase pentru gestionarea surselor de semințe forestiere și a diversității genetice. Aceste unități au fost identificate în multe țări, dar numai recent au fost combinate într-o rețea la nivel European. Unitățile incluse în baza de date EUFGIS sunt selectate pe baza unui set de cerințe minime care asigură populațiile de dimensiuni suficiente pentru a fi incluse într-o rețea de conservare (Koskela et al., 2013). Cu toate acestea, rațiunile din spatele selectării unităților de conservare trebuie să rămână mobile și ar trebui evaluate periodic în contextul schimbărilor climatice. Regiunile bioclimatice din țările europene vor suferi o contracție sau o extindere a gamei lor. În special, unii se vor îndrepta spre condiții mai calde și mai uscate. Deoarece rețeaua actuală de unități de conservare se bazează pe regiuni bioclimatice, este posibilă o revizuire a rețelei pentru a menține proiectul actual al unei unități pe regiune bioclimatică pe țară (conform rețelei centrale pan-europene, de Vries et al., 2015.). Adăugarea de unități amenințate în mod special de schimbările climatice, abordează acest lucru pe termen scurt.

Unitățile de conservare genetică reprezintă cel mai valoros set de arborete forestiere, adesea conținând rămășițe ale populațiilor originale autohtone de arbori forestieri. În conformitate cu obiectivele generale de gestionare a pădurilor pentru unitățile de conservare genetică, gestionarea pădurilor ar trebui să promoveze procesele naturale. Astfel de abordări ar trebui să facă cea mai mare utilizare a tehnicilor de gestionare care imită perturbările naturale, inclusiv utilizarea maximă a proceselor care induc, stimulează și sprijină diversitatea genetică. În cazurile în care nu are loc regenerarea naturală, ar trebui utilizată regenerarea artificială cu o sursă locală de semințe.

Pentru a ajuta la luarea unor decizii în cascadă, care se concentrează asupra menținerii variației adaptive, ar trebui utilizate următoarele criterii.

Monitorizarea vitalității și a regenerării naturale. Monitorizarea este esențială pentru a determina nivelul de schimbare care se produce. Un set de parametri pentru evaluarea riscului genetic a fost sugerat de Potter și Crane (2010). O versiune modificată a listei parametrilor este prezentată în Tabelul 1. Acești parametri oferă un cadru util în care să se monitorizeze schimbarea. Acestea pot fi folosite pentru a evalua progresul unei populații și pot fi folosite pentru a determina nivelurile de intervenție, cum ar fi răriturile pentru creșterea regenerării sau eliminarea speciilor concurente. Un plan de monitorizare genetică este deja propus de un alt raport al EUFORGEN (Aravanopoulos et al., 2015).

Factori interni În special pentru specie / populație	Factori externi În afara "controlului" speciilor / populațiilor	Probleme specifice
Structura / densitatea populației	Dăunătorii și agenți patogeni	Endemism
Capacitatea regenerativă	Speciile concurente	Statutul de conservare
Capacitatea de dispersie (sămânță / polen)	Speciile invazive	Marginale / limite de populație
Afinități în habitate	Polenizatori / dispersați	
Variabilitate genetică		

Tabelul 1. Parametrii pentru evaluarea riscurilor genetice (Potter & Crane, 2010, adaptat)

Promovarea gestionării active în unități.

După evaluarea statutului unei populații, prima opțiune ar trebui să fie menținerea populației *în situ*, dacă este posibil, prin gestionarea activă. Gospodărirea pădurilor ar trebui să compenseze efectul unui climat în schimbare până când strategiile de migrare adecvate sunt definite.

Favorizarea unităților care conțin gradienti altitudinali și alți gradienti ecologici.

La selectarea unităților pentru rețeaua de conservare, trebuie acordată prioritate unităților mari care conțin variație semnificativă altitudinală sau ecologică. O variație altitudinală mai mare crește variabilitatea condițiilor de mediu și diversitatea genetică adaptivă asociată. Dacă o unitate acoperă mai multe habitate, de exemplu tipuri de sol, aceasta este și mai valoroasă decât o unitate omogenă. Pentru speciile de arbori cu populații care sunt distribuite pe scară largă, dar împrăștiate, sunt preferate unități mari, care implică grupuri mici de populații. În schimb, pentru speciile rare, care există doar ca populații mici, unitățile de conservare pot include un număr limitat de arbori în zona centrală, care adesea reprezintă o sub-populație disponibilă pe sit.

Stabilirea unor unități suplimentare de conservare genetică

Selectarea unităților de conservare genetică pentru vulnerabilitatea la schimbările climatice

Amenințările și incertitudinile generate de schimbările climatice asupra rețelelor de conservare face necesară includerea mai multor modificări în criteriile stabilite pentru gestionarea unităților de conservare, care au fost revizuite mai sus. Dintre aceste modificări, unele vor implica schimbări în organizare (de exemplu, pentru a crea baze de date specifice pentru unitățile de conservare menite să atenueze efectele schimbărilor climatice sau să sporească monitorizarea), în timp ce altele pot necesita modificări analitice (de exemplu, aplicarea unei abordări ecologice / regionale în concentrarea dominantă asupra rețelelor de specii), iar altele ar putea fi considerate "experimentale" din cauza incertitudinilor cu care se confruntă în timpul procesului. În timp ce se aplică astfel de modificări, trebuie acceptat că speciile / populațiile vor fi expuse la modificări genetice care nu pot fi evitate (de exemplu, hibridizări după contactele secundare), că unele pierderi de diversitate genetică vor fi inevitabile și că obiectivul principal al rețelei de conservare este conservarea resurselor genetice forestiere, spre deosebire de conservarea unităților *per se*. O revizuire a rețelei de conservare existente arată că odată ce acestea au fost completate de către țările implicate, se realizează o bună acoperire a resurselor genetice din cele mai importante specii de arbori din Europa (de Vries et al., 2015). Cu toate acestea, rețeaua centrală pan-europeană nu a fost concepută în mod specific pentru a combate riscurile asociate schimbărilor climatice cu RGF și sunt necesare acțiuni suplimentare, dacă dorim ca rețeaua de bază să mențină în viitorul apropiat o mare parte a diversității genetice a speciilor (până la 2075 până la 2100). Cel mai urgent, ar trebui să abordăm următoarele acțiuni:

Selectarea unităților suplimentare pentru a reprezenta populațiile marginale de arbori

Autoritățile naționale ar trebui să acorde o atenție deosebită populațiilor marginale, deoarece acestea pot conține adaptări specifice mediului care se află la limitele arealelor biologice ale fiecărei specii de arbori. Marile populații marginale la limitele bioclimatice ale distribuțiilor de specii se confruntă cu schimbări fără precedent și, cel mai probabil, vor dispărea fără intervenție (Aitken et al., 2008).

Adăugarea unităților cu populații de arbori nou create sau migrate

Evenimentele de dispersie pe distanțe lungi au o mare influență în formarea genetică a populațiilor noi colonizând limitele nordice ale zonelor de distribuție a speciilor (LeCorre și Kremer, 2012). Aceste evenimente rare creează insule de indivizi înrudiți, cu o diversitate genetică redusă, care vor contribui în mare măsură la colonizarea mai multor teritorii nordice. Există riscul de a acumula mutații dăunătoare în aceste populații (de exemplu, Peischl et al., 2013), completând astfel aceste populații cu material genetic suplimentar, care ar putea contribui la depășirea unui blocaj genetic potențial.

Permiterea adăugării de unități suplimentare în rețeaua de bază a unităților de conservare

Utilitatea noilor unități de conservare special selectate pentru a aborda schimbările climatice va fi mai mare dacă acestea sunt integrate în cadrul rețelei centrale existente. Cu toate acestea, ar putea fi necesar un fel de pavilion (noul domeniu de baze de date) pentru a urmări astfel de populații, pentru orice strategie viitoare. Această semnalizare ar fi importantă pentru a identifica motivele pentru care au fost alese aceste unități. Va fi necesară o revizuire periodică a unităților de bază ale zonelor X din țară, pentru a se adapta viitoarelor modificări (vezi de Vries et al., 2015).

Unități de bază față de unități suplimentare

Unitățile suplimentare pot fi adăugate ca subseturi ale rețelei centrale. Conceptul și criteriile rețelei centrale vor trebui modificate pentru unitățile suplimentare ca răspuns la nevoile cauzate de schimbările climatice. Este posibil să fie necesar să se includă fie o simplificare a criteriilor, fie o modificare a acestora, pentru a permite o anumită stare de conservare. Trasabilitatea unor astfel de condiții simplificate s-ar putea dovedi utilă pentru strategiile viitoare. Astfel, rețeaua ar putea fi compusă din:

Unități de bază. Populațiile de origine autohtonă, situate în gama principală de distribuție, în medii tipice.

Unități marginale. Populațiile de origine autohtonă, situate la periferia gamei de distribuție, în medii potențial atipice. Aceste unități ar putea încorpora atât abordări populaționale unice, cât și meta-populații, pentru a menține (sau a crește) potențialul lor de adaptare.

Unitățile migratoare. Populațiile de origine non-autohtonă, situate în cadrul viitorului areal de distribuție prevăzut al speciei, de obicei sunt rezultatul migrației asistate.

Monitorizarea unităților suplimentare

Monitorizarea unităților marginale și suplimentare poate necesita eforturi suplimentare din partea autorităților țării. Pentru populațiile cele mai sudice, detectarea semnelor timpurii de declin ar putea fi vitală dacă se intenționează ca regimurile silvice să aibă o contribuție semnificativă la adaptarea populației. În plus, interacțiunile biotice pot prezenta riscuri suplimentare pentru resursele genetice, chiar și pentru acele populații care se află în interiorul arealului climatic (de exemplu, dacă există un decalaj între migrația dăunătorilor și arborilor ca o consecință a timpului de generare mai scurt). Pentru cele mai nordice populații marginale, detectarea evenimentelor de colonizare poate oferi indicii timpurii în mediile cele mai potrivite pentru colonizarea viitoare.

Explorarea abordărilor regionale privind conservarea RGF

În locul rețelelor axate pe specii, ar putea fi aplicată o abordare regională pentru anumite specii, în special complexe de specii sau grupuri taxonomic incerte, precum *Pinus halepensis* sau stejarul alb din bazinul mediteraneean.

Aspecte taxonomice

Este important de observat că speciile nu sunt entități statice și că, de exemplu, hibridarea poate duce la formarea de noi specii. Cazul speciilor de stejar din sudul Europei ilustrează potențialul de hibridizare și formare a speciilor noi. Hibridizarea în anumite sisteme ar putea fi evaluată dacă sunt alese unități suplimentare în "zone hibride".

Specii care sunt favorizate de schimbările climatice

În ciuda amenințărilor la adresa RGF, schimbările climatice vor favoriza răspândirea unor specii (de exemplu, *Quercus ilex* va crește probabil arealul de distribuție în țări precum Franța). Chiar și pentru astfel de specii, rămășițele de populații și populațiile relict ar trebui să primească o atenție specială pentru a evita pierderile de RGF valoroase. După cum sa menționat mai sus, populațiile largi vor pierde din diversitatea genetică cel puțin în fazele inițiale de expansiune. Cu

toate acestea, există posibilitatea ca populațiile din diferite refugii glaciare să se poată uni în anumite zone, creând o nouă diversitate genetică prin amestecarea populațiilor izolate. La rândul său, acest lucru ar putea crea segregarea trăsăturilor adaptive care să conducă la o adaptare sporită la schimbările climatice. În astfel de domenii de fuziune genotipică, crearea unor noi unități de conservare ar putea fi cea mai profitabilă.

Revizuirea progreselor științifice

Recomandările și metodele din acest raport trebuie să fie actualizate, după caz. O revizuire a progreselor științifice, cu accent pe impactul potențial al schimbărilor climatice asupra conservării RGF, ar trebui implementată în viitor. O astfel de revizuire ar trebui să faciliteze comunicarea dintre oamenii de știință și manageri pentru o încorporare timpurie a noilor descoperiri în politicile de conservare.

RECOMANDĂRI PENTRU ABORDĂRI COMPLEMENTARE *EX SITU*

În unele cazuri, nu v-a fi posibilă menținerea unor unități *in situ*, deoarece condițiile se vor schimba prea mult pentru a permite supraviețuirea unei populații de arbori. În plus, unele populații pot avea variante sau potențial adaptiv care trebuie menținute. În aceste cazuri, vor fi necesare măsuri de conservare *ex situ*. După cum s-a menționat anterior, instrumentul de decizie tip cascadă (Anexa 1) ar trebui să ajute managerii să determine când sunt necesare cele mai apropiate abordări *ex situ*.

Conservarea *ex situ* este definită aici ca o "conservare componentelor diversității biologice în afara habitatelor lor naturale" (a se vedea articolul 2 al Convenției privind diversitatea biologică). Colecțiile *ex situ* includ colecții de plante întregi, zigoți, gameți și țesut somatic. Desigur, există diferențe fundamentale între colecțiile de plante întregi, cum ar fi livezile de semințe și colecțiile cum ar fi semințele sau embrionii crioconservați. Opțiunea preferată este menținerea unei situații dinamice, în care au loc procese naturale, cum ar fi fluxul de gene și selecția naturală. Măsurile statice *ex situ* sunt cele care, în loc să promoveze o situație dinamică, țin materialul în stază - cum ar fi crioconservarea țesuturilor.

Prioritizarea speciilor de arbori și stabilirea populațiilor *ex situ*

Prioritizarea

Pentru a optimiza eforturile de conservare, este necesară prioritzarea speciilor și coordonarea măsurilor de conservare la nivel pan-european. Prioritizarea speciilor trebuie să ia în considerare 1) necesitatea conservării în funcție de importanța speciilor (de exemplu, valorile ecologice și economice), 2) urgența conservării în funcție de tipurile și intensitățile amenințării (așa cum este descrisă mai devreme) și 3) fezabilitatea conform costurilor și impactului preconizat al măsurilor în raport cu bugetele disponibile.

Măsurile *ex situ* sunt adesea strâns legate de urgența acțiunii. O prezentare generală a speciilor (potențial) amenințate și a populațiilor de arbori Europeni ar permite intervenția anterioară pentru măsurile *ex situ*. O astfel de "listă roșie" sistematică și taxonomic sincronizată a speciilor și a populațiilor de arbori Europeni amenințați trebuie stabilită și menținută pe termen lung. În cadrul acestui raport s-au făcut sugestii cu privire la criteriile de stabilire a unei liste roșii - cele referitoare la criteriile IUCN și, de asemenea, unele specifice privind impacturile prevăzute pe baza schimbărilor climatice. În timpul elaborării acestui raport, autorii au constatat că o inițiativă concomitentă este în vigoare ca parte a acțiunii COST FP1202, pentru a pregăti o listă a populațiilor marginale amenințate. Regiunile adiacente ale Europei trebuie luate în considerare, în special Africa

de Nord, Orientul Apropiat și Caucazul. Aceste regiuni de la marginea sudică a zonei climatice mediteraneene, sunt cele mai sensibile la schimbările de distribuție a speciilor declanșate de încălzirea climatică. Dacă își pierde specia actuală de arbori, ele vor fi expuse la deșertificare, deoarece nu există nicio altă alternativă de specii sudice de arbori disponibile pentru a migra spre nord.

Stabilirea populațiilor *ex situ*

Deoarece majoritatea speciilor de arbori au un potențial de adaptare ridicat (vezi secțiunea "Potențialul adaptativ", în contextul măsurilor de conservare *ex situ*. Prin urmare, toate măsurile care se referă la regenerarea artificială, adică majoritatea măsurilor *ex situ*, dar și regenerarea asistată în unitățile de conservare *in situ*, trebuie să asigure faptul că variabilitatea maximă a populației inițiale este captată prin 1) folosirea strategiilor adecvate de colectare a semințelor și 2) prin stabilirea optimă a mărimii populației *ex situ*.

1) Strategii de colectare a semințelor: cele mai bune practici în recoltarea semințelor iau în considerare și îndeplinesc cerințele minime privind a) mărimea populației, b) numărul arborilor materni, c) distanța maximă spațială și ecologică a arborilor mamă, d) numărul de ani de recoltare. Protocoalele de colectare a semințelor ar trebui să vizeze captarea diversității genetice maxime în regenerarea artificială pentru a optimiza potențialul de adaptare genetică și epigenetică.

2) Dimensiunea populației *ex situ*: prezența unui număr mare de indivizi regenerați este esențială pentru a oferi cea mai bună oportunitate în funcționarea proceselor de selecție naturală.

Dacă este posibil, unitățile de conservare *ex situ* ar trebui stabilite cu cel puțin 5.000 de plantule / puiți recoltați din populații care conțin cel puțin 500 de adulți. Astfel de unități de conservare *ex situ* ar trebui să se bazeze pe semințe colectate în cel puțin două sezoane, de la cel puțin 50 de arbori – mama separați spațial, care cresc în întreaga gamă de condiții ecologice din cadrul sitului (Skrøppa, 2005). Pentru speciile dispersate, rare și pe cale de dispariție, care au populații cu număr redus de arbori, este posibil ca aceste standarde minime să fie reduse. Alternativ, ar putea fi luate în considerare unirea subpopulațiilor fragmentate cu subpopulațiile învecinate în unități *ex situ* pentru a obține praguri minime de populații viabile.

Ca o precauție generală privind stabilirea unităților, riscul de introducere a dăunătorilor și a agenților patogeni ar trebui să fie, de asemenea, luat în considerare. Deoarece prevenirea și depistarea precoce sunt strategiile cele mai rentabile, măsurile fitosanitare (carantinele post-intrare și controalele la frontieră pentru biosecuritate) ar trebui luate în serios pentru a proteja biodiversitatea (Clarke, 2008).

Conservarea dinamică *ex situ*

Conservarea dinamică *ex situ* implică înființarea de populații în afara habitatelor lor naturale, cu accent pe facilitarea și menținerea regenerării naturale a populației. În unele cazuri, nu va fi posibilă menținerea populației în locația actuală, iar migrația asistată poate fi singura opțiune pentru conservarea dinamică (Thomas, 2011). Migrația asistată poate implica mișcarea mediată de om a unei populații prin introducerea unei proveniențe sau a unei specii într-o regiune nouă sau prin facilitarea migrației naturale. În contextul acestui raport, discuțiile privind migrația asistată se vor concentra pe deplasarea unei populații dincolo de cea care se așteaptă să se producă în circumstanțe naturale pe termen scurt. Accentul se pune și pe menținerea diversității genetice în cadrul speciilor europene de arbori, în loc să se introducă specii importante din punct de vedere comercial.

Migrația asistată este considerată de unii autori drept o strategie potențial importantă de adaptare la schimbările climatice (Millar et al., 2007, Campbell et al., 2009), dar ar trebui văzută ca o măsură complementară sau ca o ultimă soluție, deoarece informațiile despre ecologia genelor lipsesc pentru majoritatea speciilor forestiere (Eskelin et al., 2011), iar implicațiile acestei practici sunt incerte și duc la riscuri și impacturi asociate.

Pentru a minimiza implicațiile imprevizibile, instituirea unor unități de conservare *ex situ* provenite din migrația asistată ar trebui să fie efectuată treptat pe distanțe geografice și ecologice relativ scurte. Aceste distanțe nu trebuie să depășească un prag maxim echivalent cu schimbarea așteptată în următorii 20-30 de ani sau cu 25% din timpul de rotație (de exemplu, O'Neill, 2013, Wang și colab., 2010a și 2010b). Studiile de proveniență existente în Europa ar putea fi efectuate pentru a obține un consens privind potențialul adecvat al migrației asistate în diferite cazuri (de exemplu, Alberto et al., 2013b). În funcție de scopul transferului, arboretele pure ale materialului introdus pot fi înființate acolo unde o singură unitate este amenințată și trebuie să fie conservată, în timp ce arboretele mixte de material introdus și local pot fi stabilite pentru a încuraja procesele naturale în alte cazuri.

Se recomandă stabilirea a cel puțin două unități *ex situ* pentru fiecare unitate de conservare valoroasă, deoarece cel mai mare efort este în colectarea și creșterea materialului de reproducere, iar riscul de a pierde o populație poate fi ridicat. Odată ce o unitate este dublată, procesele naturale sunt încă în desfășurare în unitatea inițială, iar acestea trebuie protejate și monitorizate.

Utilizarea conceptelor statice, cum ar fi zonele de semințe și regiunile de proveniență, vor trebui revizuite pentru a se asigura că managerii au acces la variații genetice suficiente în materialul săditor. Întrucât materialul forestier de reproducere ar putea fi necesar să fie deplasat peste granițele naționale pentru a fi plantat, standardele de transfer de semințe pot necesita modificări ca răspuns la

schimbările climatice pentru a se asigura că plantațiile au potențialul de a se adapta la viitoarele condiții de mediu.

Măsuri de conservare *ex situ*

Pentru unele specii, abordarea dinamică preferată de conservare nu va fi posibilă și în aceste cazuri singura alternativă este menținerea speciei în stază într-o bancă de semințe sau într-o bancă de gene (de exemplu crioconservarea). În general, cu cât intervenția a fost mai devreme, cu atât este mai eficientă și, în majoritatea cazurilor, și cea mai economică. Paralel cu conservarea măsurilor individuale de conservare *ex situ* static pentru unele specii, abordarea dinamică preferată de conservare nu va fi posibilă și în aceste cazuri singura alternativă este menținerea speciilor în stază într-o bancă de semințe sau într-o bancă de gene (de exemplu crioconservarea). În general, cu cât intervenția a fost mai devreme, cu atât este mai eficientă și, în majoritatea cazurilor, și cea mai economică. În paralel cu conservarea indivizilor care se află în stază, ar trebui luate și alte măsuri de conservare statică *ex situ*, cum ar fi conservarea indivizilor în grădinile botanice, populațiile artificiale în livezile de semințe și colecțiile de genotipuri sau conservarea *situm* în zonele culturale și de așezare (de exemplu Dawson et Al., 2013).

Monitorizare adecvată

Viitoarele unități de conservare *ex situ* trebuie incluse în sistemul de monitorizare pentru a evalua dezvoltarea și viabilitatea acestora în condițiile din locurile alese. Se sugerează existența unui anumit "pavilion" în baza de date EUFGIS pentru identificarea unităților *ex situ*. O atenție deosebită trebuie acordată monitorizării genetice a unităților de migrație. Unitățile dinamice *ex situ* vor oferi date valoroase privind performanța viitoare a speciilor.

RECOMANDĂRI PENTRU CERCETARE

Este esențial să sporească înțelegerea științifică actuală cu privire la impactul și adaptabilitatea speciilor și a populațiilor de arbori la schimbările climatice. Deși recomandările din acest raport se referă în primul rând la problemele de management, este important să se sublinieze anumite lacune în cercetare. Se știe puțin despre impactul schimbărilor climatice asupra diversității genetice, până în prezent doar câteva studii care arată efecte concrete. În afară de răspunsurile individuale ale speciilor și ale plantelor la schimbările de mediu, în acest raport sunt evidențiate două domenii particulare.

În primul rând, există lipsa de cunoștințe despre migrația asistată și impactul său potențial asupra compoziției genetice și a compoziției speciilor. O sursă evidentă de date este numărul semnificativ de studii de proveniență care au fost efectuate în întreaga Europă. Acestea pot fi folosite pentru a evalua reacțiile potențiale ale speciilor la mișcarea pe scară largă. Prin cercetări ulterioare putem estima mai bine impacturile sau răspunsurile viitoare.

A doua zonă evidențiată în acest raport este cea a populațiilor marginale și periferice. Aceste populații trebuie identificate și caracterizate pentru a permite predicțiile viitoarelor zone amenințate. Cercetarea ar trebui să fie efectuată pentru a determina răspuns și impact în cadrul acestor populații marginale. Diferitele tipuri de marginalitate, inclusiv marginalitatea altitudinală, sunt deosebit de importante pentru populațiile din cadrul distribuției principale a unei game de specii.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI GENERALE

Concluzii

Diversitatea genetică a arborilor forestieri din Europa este probabil redusă ca urmare a schimbărilor climatice. Această analiză arată că populațiile marginale din zonele din sud sunt în mod deosebit expuse riscului. Cele mai probabile amenințări sunt seceta și creșterea temperaturii în sudul Europei. Schimbările climatice pot duce la modificarea gamei de specii și la compoziția speciilor. Biologia speciilor va determina într-o oarecare măsură nivelul impactului schimbărilor climatice asupra populațiilor; De exemplu, se așteaptă ca speciile cu populații mari și zonele geografice largi să fie mai puțin afectate decât cele cu populații mici și zone geografice limitate.

Consensul este că rețeaua pan-europeană actuală nu a fost concepută special pentru a conserva RGF în contextul schimbărilor climatice. Astfel, vor fi necesare măsuri suplimentare pentru conservarea acelor RGF care sunt cele mai amenințate, de ex. Populații marginale care trăiesc în condiții climatice extreme. Au fost examinate o serie de abordări, însă un punct cheie este că există foarte puține date empirice disponibile. Astfel, cele mai bune practici se pot baza doar pe predicții și estimări.

Recomandări

Țările europene ar trebui să continue să completeze baza de date EUFGIS pentru a identifica lacunele pe regiuni și specii.

- Adăugarea unităților suplimentare la EUFGIS marcate specific ca RGF pentru unitățile de schimbări climatice. O atenție deosebită trebuie acordată populațiilor marginale și în special celor cu limite cunoscute în termeni de plasticitate ecologică sau diversitate genetică.
- Este necesară o rezoluție a FOREST EUROPE privind circulația materialelor de reproducere între țări în scopuri de conservare.
- Zona acoperită de colaborarea pan-europeană pe RGF ar trebui extinsă pentru a include, de exemplu, zonele Macronesiene și alte zone cu un endemism ridicat. Aceste zone au un nivel ridicat de endemism și genotipuri unice.
- Colaborarea cu țările nord-africane ar trebui căutată pe specii comune. Este probabil ca speciile comune să existe în prezent în condiții climatice mai avansate în Africa de Nord în comparație cu Europa.
- Un instrument de decizie tip cascadă ar trebui dezvoltat și utilizat ulterior în viitor. Instrumentul prezentat în acest raport este mai degrabă un exemplar decât un produs

finit. Acest lucru ar putea fi dezvoltat sub forma unei inițiative specifice a EUFORGEN.

- Dezvoltarea speciilor și a listelor roșii de populație / regiune ar trebui considerată o inițiativă a EUFORGEN. În acest raport sunt prezentate câteva exemple, dar acest lucru trebuie să fie revizuit mai substanțial și utilizat ca o activitate în continuă desfășurare. O parte din aceste activități se realizează prin acțiunea COST FP1202.
- Sunt necesare mai multe cercetări pentru a evalua efectele potențiale și impactul migrației asistate. Studiile de proveniență existente pot fi folosite ca punct de plecare, dar sunt necesare cercetări suplimentare pentru a înțelege adaptarea potențială a arborilor la scenariile viitoare privind schimbările climatice.
- De asemenea, este necesară cercetarea pentru a evalua impactul schimbărilor climatice asupra populațiilor marginale și periferice, în special în ceea ce privește adaptabilitatea acestora.

BIBLIOGRAFIE

- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T. & Curtis-McLane, S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95–111.
- Alberto, F.J., Derory, J., Boury, C., Frigerio, J.-M., Zimmermann, N.E. & Kremer, A. 2013a. Imprints of Natural Selection Along Environmental Gradients in Phenology-Related Genes of *Quercus petraea*. *Genetics* 195(2):495–512.
- Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alia, R., Gonzalez-Martinez, S.C., Hanninen, H., Kremer, A., Lefevre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R., Savolainen, O. 2013b. Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Global Change Biology* 19(6): 1645-1661.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259(4): 660-684.
- Amaral, W., Yanchuk, A., Kjaer, E. 2004. Methodologies for *ex situ* conservation. In: FAO, FLD, IPGRI, Forest genetic resources conservation and management. Vol. 3: In plantations and Genebanks (*ex situ*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 3-7.
- Aravanopoulos, F.A. 2011. Genetic monitoring in natural perennial plant populations. *Botany* 89: 75-81.
- Aravanopoulos, F.A., Tollefsrud, M.M., Katzel, R., Soto, A., Graudal, L., Nagy, L., Koskela, J., Pilipovic, A., Zhelev, P., Westergren, M., Božic, G. and Bozzano, M. 2015. Development of genetic monitoring methods for genetic conservation units of forest trees in Europe. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Bioversity International, Rome, Italy.
- Baker, W.L. & Dillon, G.K. 2000. Plant and vegetation responses to edges in the southern Rocky Mountains. In: Knight, R. L., Smith, F. W., Buskirk, S. W., Romme, W. H. & Baker, W. L. (eds.) Forest fragmentation in the southern Rocky Mountains. University Press of Colorado, Boulder. pp. 221–245.
- Barsoum, N. & Hughes, F.M.R. 1998. Regeneration response of black poplar to changing river levels. In: Wheeler H. & Kirby C. (eds), Hydrology in a changing environment. Vol. 1. Wiley. pp. 397-412.
- Battisti, A. 2008. Forests and climate change – lessons from insects. *iForest* 1:1-5 [online: Feb. 28, 2008] URL: <http://www.sisef.it/iforest/>
- Behm, A., Becker, A., Dorlinger, H., Franke, A., Kleinschmit, J., Melchior, G.H., Muhs, H.J., Schmitt, H.P., Stephan, B.R., Tabel, U., Weisberger, H. & Widmaier, T. 1997. Concept for the conservation of forest genetic resources in the Federal republic of Germany. *Silvae Genetica* 46: 24-34.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* 15: 365–377.
- Benito Garzon, M., Alia, R., Robson, T.M., Zavala, M.A. 2011. Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 20(5): 766–778.
- Bilz, M., Kell, S.P., Maxted, N. & Lansdown, R.V. 2011. European Red List of Vascular Plants. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 142 p.
- Boisvenue, C. & Running, S.W. 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity—evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology* 12(5), pp. 862–882.
- Bolte, A., Ammer, C., Lof, M., Madsen, P., Nabuurs G.-J., Schall, P., Spathelf, P. & Rock, J. 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 473-482.
- Brankovic, C., Srnec, L. & Patarcic, M. 2010. An assessment of global and regional climate change based on the EH5OM climate model ensemble. *Climatic Change* 98: 21-49.

- Campbell, E., Saunders, S.C., Coates, D., Meidinger, D., MacKinnon, A., O'Neill, G., MacKillop, D. & DeLong, C. 2009. Ecological resilience and complexity: a theoretical framework for understanding and managing British Columbia's forest ecosystems in a changing climate. BC Min. For. Range, For. Sci. Prog., Victoria, BC. Tech. Rep. 055. 36 p.
- Caparros, A. & Jacquemont, F. 2003. Conflicts between biodiversity and carbon sequestration programs: economic and legal incentives. *Ecological Economics* 46: 143-157.
- Choat, B., Jansen, S., *et al.* 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* 491(7426): 752-755.
- Chornesky, E. A. & Randall, J. M. 2003. The Threat of Invasive Species to Biological Diversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 90: 67-76.
- Clarke, M. 2004. Phytosanitary measures: preventing the introduction of exotic pests and pathogens occurring from the global trade of wood products. Working papers of the Finnish Forest Research Institute 1 URL: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/> 2004/mwp001.htm Accessed on 20 July 2015.
- Clelland, E. E. & Mooney, H. A. 2001. Evolutionary Impact of Invasive Species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98: 5446-5451.
- CBD 2014. "Invasive Alien Species." Programmes and Issues. (<http://www.cbd.int/programmes/cross-cutting/alien>). Accessed on 17 July 2015. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- Cotrufo, M. F., Alberti, G., Inglima, I., Marjanovic, H. LeCain, D., Zaldei, A., Peressotti, A. & Miglietta, F. 2011. Decreased summer drought affects plant productivity and soil carbon dynamics in a Mediterranean woodland. *Biogeosciences* 8(9): 2407-2831.
- de Vries, S.M.G., Alan, M., Bozzano, M., Burianek, V., Collin, E., Cottrell, J., Ivankovic, M., Kelleher, C.T., Koskela, J., Rotach, P., Vietto, L. & Yrjana, L. 2015. Pan-European strategy for genetic conservation of forest trees and establishment of a core network of dynamic conservation units. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Bioversity International, Rome, Italy.
- Dawson, I., Guariguata, M., *et al.* 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity *in circa situm*, *in situ* and *ex situ* settings? A review. *Biodiversity and Conservation* 22(2): 301-324.
- Donnelly, A., Caffarra, A., Kelleher, C.T., O'Neill, B.F., Diskin, E., Pletsers, A., Proctor, H., Stirnemann, R., O'Halloran, J., Penuelas, J., Hodkinson, T. R. & Sparks, T. 2012. Surviving in a warmer world: environmental and genetic responses. *Climate Research* 53(3): 245-62.
- EC. 2008. Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. AGRI-2007-G4-06. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytac, Z. & Adıguzel, N. 2000. Red Data Book of Turkish Plants. Ankara. 246 p.
- Engelman, F. 1997. *In vitro* conservation methods. In: Ford-Lloyd, B.V., Newbury, J.H. & Callow, J.A. (eds.), *Biotechnology and Plant genetic Resources: Conservation and use*. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 119-162.
- Eskelin, N., Parker, W. C., Colombo S.J. & Lu, P. 2011. Assessing assisted migration as a climate change adaptation strategy for Ontario's forests: project overview and bibliography. Ministry of Natural Resources, Climate Change Research Report CCRR-19. 55 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization) 1992. Establishment and management of *ex-situ* conservation stands. In: *Forest Genetic Resources Information No.20*. FAO, Rome, Italy. pp. 7-10.
- FOREST EUROPE , UNECE, FAO. 2011. State of Europe's forest 2011. Status and trends in Sustainable Forest Management. FOREST EUROPE Liason Unit Oslo, Aas, Norway.
- Frey, H.-U. 2003. Die Verbreitung und die waldbauliche Bedeutung der Weissstanne in den Zwischenalpen. Ein Beitrag für die waldbauliche Praxis. Schweiz. Z. *Forstwes.* 154, 3-4: 90-98.
- Geburek, T., Turok, J. 2005. Conservation and management of Forest genetic Resources in Europe. Arbora Publishers, Zvolen. pp. 567-583.

- Gomez-Aparicio, L., Zamora, R., *et al.* 2005. The regeneration status of the endangered *Acer opalus* subsp. *granatense* throughout its geographical distribution in the Iberian Peninsula. *Biological Conservation* 121(2): 195-206.
- Gomez-Aparicio, L. 2013. Climate Change Impacts on Tree Regeneration: Implications for Forest Dynamics in a Drier World. Talk at ClimTree conference, Zurich 2013.
- Graudal, L., Kraier, E.D. & Canger, S. 1995. A systematic approach to the conservation of genetic resources of trees and shrubs in Denmark. *Forest Ecology and Management* 73: 117-134.
- Hampe, A. & Petit, R.J. 2005. Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters* 8(5): 461-7.
- Hamrick, J.L. 2004. Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management*, 197 (1-3): 323-335.
- Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.- J., Nabuurs, G.-J. & Zimmermann, N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change* 3: 203-207.
- Hannah, L. 2010. A global conservation system for climate-change adaptation. *Conservation Biology* 24: 70-77.
- Harris, J.A., Hobbs, R.J., Higgs, E., Aronson, J. 2006. Ecological restoration and global climate change. *Restoration ecology* 14(2): 170-176.
- Hemery, G.E. 2007. Forest management and silvicultural responses to predicted climate change impacts on valuable broadleaved species. Short-Term Scientific Mission report for Working Group 1, COST Action E42. 17 p. (http://sylva.org.uk/forestryhorizons/documents/STSM_COST-E42_GabrielHemery_May07_final.pdf) Accessed 20 July 2015.
- Hewitt, G. 2000. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405(6789): 907-13.
- Holderegger, R., Kamm, U. & Gugerli, F. 2006. Adaptive vs. neutral genetic diversity: implications for landscape genetics. *Landscape Ecology* 21(6): 797-807.
- Holderegger, R., Herrmann, D. Poncet, B., Gugerli, F., Thuiller, W., Taberlet, P., Gielly, L., Rioux, D., Brodbeck, S., Aubert, S. & Manel, S. 2008. Land ahead: using genome scans to identify molecular markers of adaptive relevance. *Plant Ecology & Diversity* 1(2): 273-283.
- Hubert, J. & Cottrell, J. 2007. The role of Forest Genetic Resources in helping British Forests respond to climate change. Information note, Forestry Commission, Edinburgh.
- Hurka, H. 1994. Conservation genetics and the role of botanical gardens. In: Sandlund, O.T., Hindar, K. & Brown A.H.D. (eds.), Conservation genetics. Birkhauser Verlag, Basel. pp. 371-380.
- IPCC 2007a. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (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, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.
- IPCC 2007b. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 976 p.
- IPCC 2013. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.
- IUCN 2012. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. IUCN. Iv + 32 p.
- IUCN 2014. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. (www.iucnredlist.org). Downloaded on 25 November 2014.
- Johnson, S. & Abrams, M.D. 2009. Age class, longevity and growth rate relationship: protracted growth increases in old trees in the eastern United States. *Tree Physiol.* 29: 1317-1328.

- Jump, A.S., Hunt, J.M., Martinez-Izquierdo, J.A., & Penuelas J. 2006. Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology*, 15(11). pp. 3469-3480.
- Kay, J., Strader, A.A., Murphy, V., Nghiem-Phu, L., Calonje, M. & Griffith, M.P. 2011. Palma Corcho: A Case Study in Botanic Garden Conservation Horticulture and Economics. *HortTechnology* 21(4): 474–81.
- Kliejunas, J. T. 2011. A risk assessment of climate change and the impact of forest diseases on forest ecosystems in the Western United States and Canada. Gen. Tech. Rep. PSWGTR- 236. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 70 p.
- Koca, D., Smith, S. & Sykes, M.T. 2006. Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden. *Climatic Change*, 78, 381-406. Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E. (eds.) 2007. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. 111 p.
- Koskela, J., Lefevre F., Schuler S., Kraigher H., Olrik DC., Hubert J. *et al.* 2013. Translating conservation genetics into management: Pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity. *Biological Conservation* 157: 39-49.
- Koskela, J., Buck, A. & Teissier du Cros, E. 2007. Climate change and Forest genetic diversity: implication for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy.
- Kostiainen, K., Jalkanen, H., Kaakinen, S., Saranpää, P. & Vapaavuori, E. 2006. Wood properties of two silver birch clones exposed to elevated CO₂ and O₃. *Global Change Biology* 12(7): 1230–1240.
- Kremer A. 2007. How well can existing forests with stand climate change? In: Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Rome, Bioversity International. pp. 3–17.
- Kremer A. 2010. Evolutionary responses of European Oaks to climate change. Forest Ecosystems Management in the 21st Century. Proceedings of the Annual Conference of the European Forest Institute. Dublin, September 2009. pp. 53–65.
- Kremer, A., Vinceti, B., Alia, R., Burczyk, J., Cavers, S., Degen, B., Finkeldey, R., Fluch, S., Gomory, D., Gurgerli, F., Koelewijn, H.P., Koskela, J., Lefevre, F., Morgante, M., Mueller-Starck, G., Plomion, C., Taylor, G., Turok, J., Savolainen, O. & Ziegenhagen, B. 2011. Forest ecosystems genomics and adaptation: EVOLTREE conference report. *Tree Genetics & Genomes* 7:869-875.
- Kremer, A., Ronce, O., Robledo-Arnuncio, J. J., Guillaume, F., Bohrer, G., Nathan, R., Bridle, J. R., Gomulkiewicz, R., Klein, E. K., Ritland, K., Kujala, A., Gerber, S. & Schueler, S. 2012. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 15: 378–392.
- Lascoux, M., Palme, A.E., Cheddadi, R. & Latta, R.G. 2004. Impact of Ice Ages on the genetic structure of trees and shrubs, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 359 (1442): 197–207. Laurance, W. F. 1991. Edge effects in tropical forest fragments-application of a model for the design of nature-reserves. *Biological Conservation* 7: 205–219.
- LeCorre, V. & Kremer, A. 2012. The genetic differentiation at quantitative trait loci under local adaptation. *Molecular Ecology* 21 (7): 1548–66.
- Lefevre, F. 2007. Conservation of forest genetic resources under climate change: the case of France. In: Koskela, J., Buck, A. & Teissier du Cros, E. (eds.), Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. pp. 95–101.
- Lefevre, F., Koskela, J., Hubert, J., Kraigher, H., Longauer, R., Olrik, D.C., Schuler, S., Bozzano M. 2013. Dynamic conservation of forest genetic resources in 33 European countries. *Conservation Biology* 27 (2): 373-384.

- Liepert, S., Mayland-Quellhorst, E., Lahme, M. & Ziegenhagen, M. 2010. Contrasting geographical patterns of ancient and modern genetic lineages in Mediterranean *Abies* species. *Plant Systematics and Evolution* 284 (3-4): 141-151.
- Loarie, S. R., Duffy, P.H., Hamilton, H., Asner, G.P., Field C.B. & Ackerly D. D. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462: 1052- 1055.
- Loss, J., Fady, B., Dawson, I., Vinceti, B. & Baldinelli, G. 2011a. Climate change and forest genetic resources. Background Study paper No. 56. The Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United nations, Rome, Italy.
- Loss, S.R., Terwillinger, L. A. & Peterson, A.C. 2011b. Assisted colonization: Integrating conservation strategies in the face of climate change. *Biological Conservation* 144: 92-100.
- Lowe, A., Unsworth, C., Gerber S., Davies S., Munro, R., Kelleher, C., King, A., Brewer, S., White, A. & Cottrell, J. 2006. Route, speed and mode of Oak Postglacial colonization across the British Isles: Integrating molecular ecology, palaeoecology and modelling approaches. *Botanical Journal of Scotland*, 57(1-2). pp. 59–81.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E. O. 1967. The Theory of Island Biogeography. Princeton University Press. 226 p.
- Madlung, C. 2004. The Effect of Stress on Genome Regulation and Structure. *Annals of Botany* 94: 481–495.
- Manel, S., Joost, S., Epperson, B.K., Holderegger, R., Storfer, A., Rosenberg, M.S., Scribner, K.T., Bonin, A. & Fortin, M.-J. E. 2010. Perspectives on the use of landscape genetics to detect genetic adaptive variation in the field. *Molecular Ecology* 19 (17): 3760-3772.
- Maracchi, G., Sirotenko, O. & Bindi, M. 2005. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. *Climatic Change*, 70: 117- 135.
- Marsland, G.A., Haak, H., Jungclaus, J.H., Latif, M. & Roske, F. 2003. The Max Planck Institute global/sea-ice model with orthogonal curvilinear coordinates. *Ocean Model* 5: 91-127.
- McLachlan, J. S., Hellmann, J. J. *et al.* 2007. A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change. *Conservation Biology* 21 (2): 297-302.
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kubler, K., Bissolli, P., Braslavska, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatzak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, O., Penuelas, J., Pirinen, P., Remišova, V., Scheffinger, H., Striz, M., Susnik, A., vanVliet, A.J.H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S. & Züst, A. 2006 European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.*,12, 1969-1976.
- Metzger, M.J., Leemans, R., Schroter, D., Cramer, W. & the ATEAM consortium. 2004. The ATEAM Vulnerability Mapping Tool. Quantitative Approaches in System Analysis No. 27. Wageningen, C.T. de Witt Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, CD ROM.
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Sayre, R., Trabucco, A. & Zomer, R. 2013. A high resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research. *Global Ecology and Biogeography* 22 (5): 630-638.
- Millar, C.I., Stephenson, N.J. & Stephens, S.L. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecol. Appl.* 17: 2145-2151.
- Myking, T. 2002. Evaluating genetic resources of forest trees by means of life history traits – a Norwegian example. *Biodiversity and Conservation* 11(9): 1681-1696.
- Oldfield, S., Lusty, C. & MacKinven, A. 1998. The World List of Threatened Trees. World Conservation Press, Cambridge, UK. 650 p.
- O'Neill, G.A., Ukrainetz, N.K., Carlson, M.R., Cartwright, C.V., Jaquish, B.C., King, J.N., Krakowski, J., Russell, J.H., Stoehr, M.U., Xie, C. & Yanchuk, A.D. 2008. Assisted migration to address climate change in British Columbia: recommendations for interim seed transfer standards. British Columbia Ministry of Forests, Victoria.
- O'Neill, G.A. 2013. Seed Sourcing 2.0: Assisting Assisted Migration. Talk at ClimTree conference, Zurich 2013.

- Ordóñez, A. & Williams, J. W. 2013. Climatic and biotic velocities for woody taxa distributions over the last 16 000 years in eastern North America. *Ecology Letters* 16(6): 773-781.
- Parducci, L., Szmidt, A. E. *et al.* 2001. Genetic variation at chloroplast microsatellites (cpSSRs) in *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei and three neighboring *Abies* species. *Theoretical and Applied Genetics* 102(5): 733-740.
- Peischl, S., Dupanloup, I., Kirkpatrick, M., Excoffier, L. 2013. On the accumulation of deleterious mutations during range expansions. *Molecular Ecology* 22: 5972-5982.
- Petit, R. J., Csaikl, U. M. *et al.* 2002. Chloroplast DNA variation in European white oaks: Phylogeography and patterns of diversity based on data from over 2600 populations. *Forest Ecology and Management* 156(1-3): 5-26.
- Potter, K.M., Crane, B.S. 2010. Forest Tree Genetic Risk Assessment System: A Tool for Conservation Decision-Making in Changing Times. User Guide Version 1.2, USDA Forest Service, 47 p.
- Roeckner, E., Bauml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornblueh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., Tompkins, A. 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: model description. Max-Planck Institute for Meteorology Rep. 349, Hamburg, 127 p.
- Rotach, P. 2001. General considerations and basic strategies. In: Lefevre, F., Barsoum, B., Heinze, B., Kajba D., Rotach, P., De Vries, S.M.G. & Turok, J. (eds.), EUFORGEN technical Bulletin: *In situ* conservation of *Populus nigra*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 8-15.
- Rudow, A. 2001. *Sorbus domestica* L.. In: Barengo, N., Rudow, A. & Schwab, P. Forderung seltener Baumarten auf der Schweizer Alpennordseite. ETHZ and BAFU, Federal Office of the Environment, Bern, Switzerland. Folder, 12 leaflets, 92 p.
- Ruiz-Labourdette, D., Schmitz, M.F. & Pineda, F.D. 2013. Changes in tree species composition in Mediterranean mountains under climate change: Indicators for conservation planning. *Ecological Indicators*, 24: 310-323.
- Rusanen, M. & Granholm, H. 2007. Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change. In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., (eds.), Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. pp. 85-93.
- Sala, G., Giardina, G. & La Mantia, T. 2011. I fattori di rischio per la biodiversità forestale in Sicilia: il caso studio del cerro di Gussone. *L'Italia Forestale e Montana* 66 (1): 71-80.
- Sanders, T., Pitman, R. & Broadmeadow, M. 2014. Species-specific climate response of oaks (*Quercus* spp.) under identical environmental conditions. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. Apr 2; 7(2): 61-9.
- Savolainen, O., Pyhäjärvi, T. & Knurr, T. 2007. Gene Flow and Local Adaptation in Trees. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38 (1): 595-619.
- Savolainen, O., Kujala, S.T., Sokol, C., Pyhäjärvi, T., Avia, K., Knurr, T., Karkkainen, K. & Hicks, S. 2011. Adaptive Potential of Northernmost Tree Populations to Climate Change, with Emphasis on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Journal of Heredity* 102 (5): 526-36.
- Schmidtling, R. 1994. Use of provenance tests to predict response to climatic change: Loblolly pine and Norway spruce. *Tree Physiology* 14: 805-817.
- Schroter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araujo, M.B., Arnell, N.W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T.R., Gracia, C.A., de la Vega-Leinert, A.C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Lavoirell, S., Linder, M., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T.D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabate, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S. & Zierl, B. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310, 1333-1337.
- Schafer, H. 2003. Chorology and Diversity of the Azorean Flora, Dissertationes Botanicae, J. Cramer, Stuttgart. 374p.

- Schueler, S. & Kapeller S., 2013. Effects of Weather Conditions During Seed Maturation on the Adaptive Performance of Seedlings and its contribution to the Adaptation of Trees to Future Climates. Talk at ClimTree conference, Zurich.
- Schueler, S., Falk, W., Koskela, J., Lefevre, F., Bozzano, M., Hubert, J., Kraigher, H., Longauer, R. & Olrik, D.C. 2014 Vulnerability of dynamic genetic conservation units of forest trees in Europe to climate change. *Global Change Biology* 20: 1498-1511.
- Simberloff, D. 2000. Global climate change and introduced species in United States forests. *The Science of the Total Environment* 262: 253-261.
- Skroppa, T. 2005. *Ex situ* conservation methods. In Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe. Arbora Publishers, Zvolen, 2005. pp. 567–583.
- St. Clair, J.B. & Howe, G.T. 2007. Genetic maladaptation of coastal Douglas-fir seedlings to future climates. *Global Change Biology* 13: 1441-1454.
- St. Clair, J.B. and Howe, G.T. 2011. Strategies for conserving forest genetic resources in the face of climate change. *Turkish Journal of Botany* 35: 403-409.
- Tessier du Cros, E. 2001. Forest Genetic Resources Management and Conservation. France as a Case of Study. Ministry of Agriculture and Fisheries, Bureau of Genetic Resources and Commission of Forest Genetic Resources, Paris.
- Theilade, I., Petri, L. & Engels, J. 2004. *Ex situ* conservation through storage and use. In: FAO, FLD, IPGRI 2004. Forest genetic resources conservation and management. Vol. 3: In plantations and Genebanks (*ex situ*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 47-59.
- Thomas C.D. 2011. Translocation of species, climate change, and the end of trying to recreate past ecological communities. *Trends in ecology and Evolution*, May 2011, Vol. 26, No. 5.
- Valbuena-Carabana, M.V., Gonzalez-Martinez, S.C., Sork, V.L., Collada, C., Soto, A., Goicoechea, P.G., Gil, L. 2005. Gene flow and hybridisation in a mixed oak forest (*Quercus pyrenaica* Willd. and *Quercus petraea* (Matts.) Liebl.) in central Spain. *Heredity* 95, 457–465.
- Yilmaz, O.Y. & Tolunay, D. 2012. Distribution of the major forest tree species in Turkey within spatially interpolated plant heat and hardiness zone maps. *Biogeoscience and Forestry* 5: 83-92.
- Wang, T., O'Neill, G. A., & Aitken, S. N. 2010a. Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate. *Ecological Applications* 20: 153–163.
- Wang, T., O'Neill, G. A., & Aitken, S. N. 2010b. Projecting future distributions of ecosystem climate niches: Uncertainties and management applications. *Forest Ecology and Management*, 279, 1 September 2012, Pages 128–140.
- Villar, M., Chamaillard, S., Barbaroux, C., Bastien, C., Brignolas, F., Faivre Rampant, P., Fichot, R., Forestier, O., Jorge, V. & Rodrigues, S. 2010. *Populus nigra* as a keystone species able to cope with the ongoing climate change. Fifth International Poplar Symposium 'Poplars and willows: from research models to multipurpose trees for a bio-based society', 20-25 September 2010 Orvieto, Italy. Book of Abstracts. p. 17.

Anexa 1

DECIZII POTENȚIALE TIP CASCADĂ PENTRU CONSERVAREA GENELOR ÎN CONDIȚIILE SCHIMBĂRIILOR CLIMATICE: MODIFICĂRI: MĂSURI, INDICATORI (vers.1.2: Proiect, pentru a oferi o idee despre deciziile tip cascadă recomandate, indicatori detaliați pentru măsuri care a trebui elaborate)

o = indicator obligatoriu (AND); Xx / yy / zz = indicatori alternativi (OR); >% / >>% / >>>% = nivelul declinului populației%

Nivel/ Etapă	Măsuri	Indicatori											
		Resurse genetice forestiere relevante (date naționale)	Cerințele minime ale unității de conservare (EUFGIS, Koskela și colab. 2013)	Criteriile pentru rețeaua de bază (de Vries et al 2015)	Criteriile pentru monitorizarea genetică a unității de conservare (Avranopoulos et al 2015)	Criteriile pentru monitorizarea genetică complementară a unităților (acest raport)	Numărul relativ de arbori reproducători în declin (% la 10 ani)	Numărul absolut de arbori reproducători care scad sub <cerință minimă	Dăunători specifici, neofit invaziv	Lipsa regenerării de peste 10 ani	Bariere de migrație, tamponare verticale epuizate	Probabilitate mare pentru driftul genetic	Pericol de dispariție
0 general													
	Prevenirea distrugerii habitatelor (sau reabilitării)	o											
	Restricție împotriva introducerii dăunătorilor, neofit invaziv etc.	o											
1. Conservarea <i>in situ</i> în unități de conservare genetică													
	Stabilirea unităților	o											
	înregistrarea EUFGIS		o										
	Monitorizarea demografică a unității		o										
	Unitatea inclusă în rețeaua centrală			o									
	Obiectivul unitar al monitorizării genetice				x	x							
2. Măsuri <i>in situ</i> în unitățile de conservare genetică													
	Reglementarea concurenței sau a agenților patogeni		o				>%	y	y				
	Regenerarea artificială		o							o			
3. Înlocuirea <i>in situ</i> / reorganizarea unităților de conservare genetică													
	Înlocuirea cu o unitate echivalentă existentă în zona țării x		o	o			>> %	y	y	o			
	Duplicarea unității în mediul înconjurător / habitat		o	o			>> %	y	y	o			
	Recombinarea duplicatelor de unități similare / apropiate în mediul înconjurător / habitat		o	o			>>> %	y	y	o		o	
4. Migrația asistată <i>ex situ</i> a unităților de conservare genetică													
	Duplicarea unității în direcția schimbării așteptate (2x)			x		x	>>> %	y	y	o	z	z	
	Recombinarea duplicatelor de unități în direcția schimbării așteptate (2x)			x		x	>>> %	y	y	o		o	
5. Conservarea <i>ex situ</i> în câmp													
	Colecții genotipice în livezi de conservare, rețele de grădini botanice			x		x		o		o		o	
6. Conservare <i>ex situ</i> în stază													
	Banca de semințe, crioconservarea, conservarea in vitro			x		x		o		o		o	o

